



Александр Восьмой

**Проект Фаргус 2:
БПЛА с Betaflight**

18+

Александр Восьмой

**Проект Фаргус 2:
БПЛА с Betaflight**

«Автор»

2026

Восьмой А.

Проект Фаргус 2: БПЛА с Betaflight / А. Восьмой — «Автор»,
2026

Учебник «Военный БПЛА с Betaflight» — практическое руководство для операторов и инженеров, осваивающих управление и тонкую настройку малых тактических дронов. В книге последовательно раскрыты принципы работы Betaflight, от базовых режимов до продвинутых техник: кинематографической съёмки, автономных миссий и анализа логов Blackbox. Особое внимание уделено диагностике неисправностей, безопасности полётов и правовым аспектам эксплуатации БПЛА. Отдельные разделы посвящены оптимизации под боевые сценарии, устойчивости к помехам и интеграции полезной нагрузки. Материал подкреплён чек-листами, сводными таблицами настроек и глоссарием — всё, чтобы быстро перейти от теории к уверенной практике в реальных условиях.

© Восьмой А., 2026

© Автор, 2026

Александр Восьмой

Проект Фаргус 2: БПЛА с Betaflight

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ: ОТ ЗЕМЛИ ДО ВОЗДУХА

Глава 1. Почему именно Betaflight: эволюция прошивок и место BF в мире БПЛА

Современная индустрия FPV-дронов немыслима без Betaflight — это де-факто стандарт прошивки полётных контроллеров для гоночных, фристайл- и кастомных БПЛА. Чтобы понять, почему сообщество массово выбирает именно её, важно взглянуть на эволюцию прошивок и на то, какие задачи Betaflight решает лучше аналогов.

Краткая эволюция прошивок для мультироторов

До появления унифицированных решений пилоты использовали отдельные контроллеры с проприетарным ПО, а настройка была крайне ограниченной. Затем рынок начал формировать несколько ключевых веток:

MWC (MultiWii) — одна из первых массовых прошивок, открывшая двери в DIY-мир. Давала базовые стабилизацию и режимы, но не имела развитой экосистемы и тонкой настройки.

Baseflight — прямой предшественник Betaflight, принёсший более современную архитектуру и улучшенную обработку данных с датчиков.

Cleanflight — ответвление, сделавшее упор на чистоту кода и удобство конфигурирования. Именно из него и вырос Betaflight.

Betaflight — форк Cleanflight, который стал «золотым стандартом» за счёт высокой производительности, гибкости и огромной поддержки сообщества.

Ключевой поворотной точкой стало смещение фокуса с «просто летать» на «летать так, как нужно именно мне»: тонкая настройка фильтров, режимов полёта, телеметрии, OSD, а также совместимость с широким спектром оборудования.

Почему Betaflight стала стандартом

Производительность и отзывчивость. Betaflight оптимизирована под современные процессоры полётных контроллеров (F4, F7, H7), что даёт минимальную задержку между командой стика и реакцией моторов. Это критично для FPV-гонок и фристайла.

Гибкость настройки. Через Betaflight Configurator можно тонко настраивать PID, фильтры, режимы полёта, failsafe, OSD и многое другое.

Поддержка огромного парка оборудования. Прошивка совместима с большинством полётных контроллеров, ESC, приёмников и видеопередатчиков.

Активное сообщество и регулярные обновления. Новые функции, исправления и улучшения появляются постоянно, а документация и гайды покрывают почти любой сценарий.

Безопасность и отказоустойчивость. Встроенные механизмы failsafe, защита от случайных запусков, режимы помощи при потере сигнала — всё это делает полёты предсказуемее.

Место Betaflight в экосистеме БПЛА

Betaflight не заменяет аппаратуру управления, видеолинк или раму — она становится «мозгом», который связывает всё воедино. В связке с современными ESC (с поддержкой DShot), приёмниками (ELRS, Crossfire) и OSD Betaflight даёт пилоту полный контроль над поведением дрона.

Для новичка это означает быстрый старт без потери глубины настройки; для продвинутого пилота — возможность выжать максимум из платформы. Именно эта универсальность и закрепила за Betaflight статус отраслевого стандарта.

10 вопросов с ответами

Вопрос 1. Чем Betaflight отличается от более ранних прошивок вроде MultiWii?

Ответ. Betaflight предлагает существенно более высокую производительность, тонкую настройку фильтров и PID, поддержку современных протоколов связи и ESC, а также развитую систему OSD и режимов полёта. MultiWii был ориентирован на базовые задачи и не имел такой гибкости и скорости обработки данных.

Вопрос 2. Что такое форк в контексте прошивок для БПЛА, и как Betaflight связана с Cleanflight?

Ответ. Форк — это ответвление проекта, когда на базе существующего кода создаётся новая ветка с собственными улучшениями. Betaflight — форк Cleanflight, унаследовавший его архитектуру, но значительно развивший функционал и производительность.

Вопрос 3. Почему высокая частота цикла гироскопа и PID важна для FPV-дрона?

Ответ. Высокая частота (например, 32 кГц для гироскопа и 32 кГц/16 кГц для PID) снижает задержку реакции дрона на команды пилота, делая управление более точным и предсказуемым — это критично для быстрых манёвров и гонок.

Вопрос 4. Какие основные преимущества даёт использование DShot по сравнению с PWM для ESC?

Ответ. DShot обеспечивает цифровую передачу данных, лучшую помехозащищённость, более точное управление моторами, телеметрию оборотов (DShot Telemetry) и меньшую задержку по сравнению с аналоговым PWM.

Вопрос 5. Что такое OSD в контексте Betaflight и зачем он нужен?

Ответ. OSD (On-Screen Display) — это информация, накладываемая на видеопоток (напряжение батареи, ток, RSSI, режим полёта и т. д.). В Betaflight OSD настраивается гибко и помогает пилоту контролировать состояние дрона в реальном времени.

Вопрос 6. Зачем нужны фильтры в Betaflight, и к чему приводит их неправильная настройка?

Ответ. Фильтры убирают шумы с датчиков, чтобы PID-регулятор работал стабильно. При неправильной настройке возможны колебания (осцилляции), ухудшение управляемости или даже аварийные ситуации из-за ложных срабатываний.

Вопрос 7. Что такое failsafe в Betaflight и какие основные сценарии он покрывает?

Ответ. Failsafe — это поведение дрона при потере связи с пультом. Основные сценарии: отключение моторов (Collapse), удержание позиции (если есть GPS), возврат домой или зависание. В Betaflight можно гибко настроить реакцию под свои задачи.

Вопрос 8. Почему сообщество считает Betaflight «стандартом» для кастомных FPV-дронов?

Ответ. Из-за сочетания высокой производительности, огромной совместимости с оборудованием, регулярных обновлений, развитой документации и активного сообщества, которое быстро решает любые вопросы.

Вопрос 9. Какие типы дронов чаще всего используют Betaflight?

Ответ. Гонимые FPV-дроны, фристайл-аппараты, кастомные мини-квадрокоптеры, а также учебные и экспериментальные платформы, где важна тонкая настройка поведения.

Вопрос 10. Что важно проверить перед первым обновлением прошивки Betaflight?

Ответ. Нужно убедиться в исправности USB-кабеля, наличии драйверов, совместимости полётного контроллера с версией прошивки, заряде аккумулятора (не подключать батарею при прошивке) и наличии резервной копии текущих настроек.

3 задачи с решением

Задача 1. Вы собираете гоночный дрон на полётном контроллере F7 и хотите добиться максимальной отзывчивости. Какие три настройки в Betaflight вы включите в первую очередь и почему?

Решение.

Частота PID-цикла 32 кГц — даёт минимальную задержку управления.

DSHOT300/600 для ESC — обеспечивает быструю и точную передачу команд моторам.

Активация RPM-фильтрации — улучшает качество сигнала с гироскопа за счёт данных об оборотах моторов, снижая шумы и повышая стабильность.

Задача 2. После смены рамы и моторов дрон стал «дёргаться» в полёте. Опишите пошаговый план диагностики в Betaflight.

Решение.

Проверить логи полёта (Blackbox) на наличие осцилляций и пиков вибраций.

Убедиться, что фильтры настроены корректно и не перегружены.

Проверить крепление полётного контроллера и отсутствие резонансов рамы.

При необходимости скорректировать PID-коэффициенты и добавить/изменить фильтры.

Повторить тестовый полёт и сравнить логи до и после.

Задача 3. Вам нужно подготовить дрон для новичка: безопасность важнее максимальной производительности. Какие 5 настроек в Betaflight помогут снизить риски?

Решение.

Failsafe Collapse — при потере сигнала моторы отключаются, предотвращая неконтролируемый полёт.

Ограничение максимальной тяги (Throttle Limit) — чтобы дрон не срывался резко с места.

Включение Beeper — для поиска дрона после падения.

Режим Angle или Horizon по умолчанию — ограничивает максимальный угол наклона, делая полёт стабильнее.

OSD с отображением напряжения и RSSI — чтобы пилот вовремя замечал разряд батареи или потерю сигнала.

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ: ОТ ЗЕМЛИ ДО ВОЗДУХА

Глава 2. Анатомия коптера: что внутри у FPV-дрона и зачем каждая деталь

Представьте, что вы держите в руках не просто коробку с винтами, а живой механизм — миниатюрный хищник, созданный для скорости и точности. FPV-дрон — это не «квадрокоптер

из магазина», где всё спрятано и работает само. Это конструктор, где каждый элемент — звено цепи, и если одно звено слабое, вся система рухнет в первые же секунды полёта.

В этой главе мы разберём «скелет» и «внутренности» типичного FPV-коптера, чтобы вы понимали не только *что* стоит на раме, но и *почему* это там стоит, как компоненты взаимодействуют с прошивкой Betaflight и как их выбор влияет на поведение дрона в воздухе.

Каркас: рама как скелет

Рама — это основа, «скелет» дрона. Она держит всё: моторы, полётный контроллер, батарею, камеру. Главная задача рамы — быть одновременно прочной и лёгкой. Чаще всего рамы делают из карбона (углепластика): он гасит вибрации, не утяжеляет аппарат и выдерживает жёсткие посадки.

Размер рамы (в миллиметрах по диагонали) определяет класс дрона: 5-дюймовые рамы — стандарт для фристайла и гонок, 7-дюймовые — для дальнолётов, а микро-рамы (3–4 дюйма) — для полётов в помещении. В Betaflight размер рамы напрямую влияет на подбор PID-коэффициентов и фильтров: более лёгкие и жёсткие рамы требуют более «острых» настроек, а длинные и гибкие — более сглаженных.

Мозг: полётный контроллер (FC)

Полётный контроллер — это «мозг» коптера. На плате FC установлены датчики (гироскоп, акселерометр) и процессор, который сотни раз в секунду считывает показания и решает, как крутить моторы. Именно FC загружает и исполняет прошивку Betaflight.

От FC зависит, какие функции будут доступны: Blackbox (лог полётов), OSD (вывод телеметрии на экран), поддержка протоколов ESC (DSHOT, PWM), а также совместимость с разными версиями Betaflight. Важно, чтобы FC имел достаточную вычислительную мощность: старые процессоры не потянут современные фильтры и высокую частоту гироскопа, что приведёт к нестабильному полёту.

Сила: моторы и пропеллеры

Моторы — это «мышцы» дрона. В FPV используют бесколлекторные моторы: они мощнее, долговечнее и дают мгновенный отклик. Характеристики мотора (KV — обороты на вольт, размер статора, вес) определяют, насколько быстро дрон разгоняется и как он ведёт себя в манёврах.

Пропеллеры — это «крылья». Они преобразуют вращение мотора в тягу. Размер и шаг пропеллера определяют баланс между тягой и скоростью: большие пропеллеры дают больше тяги и дольше летают, но медленнее реагируют; маленькие — быстрее крутятся и резче маневрируют, но быстрее расходуют батарею. В Betaflight параметры пропеллеров учитываются при настройке фильтров и PID: тяжёлые пропеллеры требуют более мощных моторов и более плавных настроек.

Скорость реакции: регуляторы оборотов (ESC)

ESC (Electronic Speed Controller) — это «нервная система», которая передаёт команды FC на моторы. ESC получает сигнал от FC и регулирует подачу тока на обмотки мотора, меняя его скорость. Современные ESC работают в режиме DSHOT — это цифровой протокол, который даёт более точную и быструю передачу команд по сравнению с аналоговым PWM.

Для Betaflight критически важна высокая частота обновления ESC и поддержка функций вроде bidirectional DShot (обратная связь по RPM). Это позволяет Betaflight видеть реальную скорость моторов и корректировать управление в реальном времени, делая полёт стабильнее и отзывчивее.

Энергия: аккумулятор (LiPo)

Аккумулятор — это «кровь» дрона. LiPo-батареи (литий-полимерные) дают высокую токоотдачу, необходимую для резких манёвров. Основные параметры — напряжение (S: 4S, 6S), ёмкость (mAh) и токоотдача (C).

Выбор батареи влияет на вес, время полёта и мощность: 6S даёт больше напряжения и позволяет использовать менее мощные моторы для той же тяги, снижая нагрев и увеличивая КПД. В Betaflight настройки фильтров и PID также зависят от напряжения: при просадке напряжения моторы теряют мощность, и дрон может стать нестабильным.

Связь и зрение: приёмник, видеопередатчик, камера

Приёмник (RX) принимает команды с пульта и передаёт их FC. От надёжности RX зависит, насколько точно дрон реагирует на ваши команды.

Видеопередатчик (VTX) передаёт изображение с камеры на ваши очки или монитор. Мощность VTX (25 mW, 800 mW и выше) определяет дальность передачи, но регулируется законодательством.

FPV-камера — это «глаза» пилота. В отличие от экшн-камер, FPV-камеры оптимизированы под минимальную задержку и широкий угол обзора, чтобы вы видели всё, что происходит вокруг, в реальном времени.

Эти компоненты не управляются напрямую Betaflight, но их работа напрямую влияет на ваш опыт пилотирования: плохая видеосвязь или слабый приёмник могут привести к потере контроля даже при идеально настроенном Betaflight.

Как всё это работает вместе

Представьте цепочку: вы двигаете стик на пульте → RX передаёт команду FC → FC обрабатывает данные с гироскопа и решает, как крутить моторы → FC отправляет команды ESC → ESC регулирует скорость моторов → моторы крутят пропеллеры → дрон летит. Параллельно камера передаёт картинку на VTX → VTX отправляет видео на ваши очки → вы видите, куда летите, и корректируете управление.

Betaflight — это тот самый «дирижёр», который синхронизирует все эти процессы. Он не управляет камерой или VTX напрямую, но отвечает за то, чтобы моторы реагировали на ваши команды максимально точно и стабильно, учитывая показания датчиков, напряжение батареи и даже вибрацию рамы.

10 вопросов с ответами

Вопрос: Зачем нужна карбоновая рама, если можно взять пластиковую?

Ответ: Карбон легче и жёстче, лучше гасит вибрации и выдерживает удары. Пластик дешевле, но тяжелее и хуже справляется с вибрациями, что ухудшает стабильность полёта и усложняет настройку Betaflight.

Вопрос: Что такое KV мотора и как это влияет на полёт?

Ответ: KV — это количество оборотов мотора на 1 вольт напряжения. Высокий KV даёт больше оборотов при том же напряжении, что полезно для лёгких дронов и быстрых манёвров. Низкий KV подходит для тяжёлых дронов и дальнолётов.

Вопрос: Почему в FPV используют ESC с протоколом DShot, а не PWM?

Ответ: DShot — цифровой протокол, он точнее и быстрее передаёт команды, поддерживает обратную связь (bidirectional DShot) и меньше подвержен помехам. Это критично для стабильного полёта и точной настройки Betaflight.

Вопрос: Как напряжение батареи (4S vs 6S) влияет на выбор компонентов?

Ответ: 6S даёт больше напряжения, позволяя использовать моторы с меньшим KV для той же тяги. Это снижает нагрев, увеличивает КПД и время полёта. Но требует ESC и моторов, рассчитанных на более высокое напряжение.

Вопрос: Зачем в Betaflight нужны фильтры и как они связаны с компонентами дрона?

Ответ: Фильтры убирают шум с датчиков, который возникает из-за вибраций рамы, моторов и пропеллеров. Жёсткая рама и лёгкие пропеллеры уменьшают вибрации, позволяя использовать более «острые» фильтры и более агрессивные PID-настройки.

Вопрос: Чем отличается FPV-камера от обычной экшн-камеры?

Ответ: FPV-камеры оптимизированы под минимальную задержку, широкий угол обзора и работу при слабом освещении. Экшн-камеры снимают в высоком разрешении, но с задержкой, что делает их непригодными для пилотирования.

Вопрос: Что такое Blackbox в Betaflight и зачем он нужен?

Ответ: Blackbox — это логгер полётов, который записывает данные о работе дрона (показания датчиков, команды, напряжение). Эти данные помогают анализировать проблемы и точно настраивать PID и фильтры.

Вопрос: Почему важно подбирать пропеллеры под моторы и раму?

Ответ: Несоответствие пропеллеров приводит к перегрузке моторов, перегреву ESC и нестабильному полёту. Лёгкие пропеллеры на мощных моторах дают резкие манёвры, тяжёлые — больше тяги, но требуют более плавных настроек Betaflight.

Вопрос: Как приёмник влияет на стабильность полёта?

Ответ: Слабый приёмник или помехи могут привести к задержкам или потере сигнала, из-за чего дрон не будет реагировать на команды. Это особенно критично в акробатических режимах, где важна мгновенная реакция.

Вопрос: Можно ли летать на FPV-дроне без видеопередачи?

Ответ: Теоретически можно, но это крайне небезопасно и неудобно. Без видеопередачи вы не видите, куда летит дрон, и не можете контролировать манёвры. FPV-полёт подразумевает управление от первого лица.

3 задачи с решением

Задача 1.

У вас есть дрон на 5-дюймовой раме с моторами 2306 1700 KV. Вы хотите перейти с 4S на 6S батарею. Какие изменения потребуются в конфигурации Betaflight и подборе пропеллеров?

Решение:

При переходе на 6S напряжение увеличивается примерно в 1,5 раза, поэтому моторы будут вращаться быстрее при том же газе. Чтобы сохранить ту же тягу, нужно использовать пропеллеры с меньшим шагом или меньшим диаметром.

В Betaflight потребуется снизить PID-коэффициенты и, возможно, усилить фильтры, так как более высокое напряжение делает дрон более отзывчивым и склонным к колебаниям.

Проверьте, поддерживают ли ESC и моторы 6S: не все компоненты рассчитаны на такое напряжение.

Итог: Подберите пропеллеры с меньшим шагом, настройте PID и фильтры в Betaflight под более высокую мощность и проверьте совместимость компонентов с 6S.

Задача 2.

Ваш дрон вибрирует в полёте, картинка «рябит», а в логах Betaflight видны сильные шумы на гироскопе. Какие компоненты и настройки стоит проверить в первую очередь?

Решение:

Проверьте крепление FC: он должен быть установлен на виброгасящих прокладках или демпферах.

Осмотрите пропеллеры: даже небольшая деформация или дисбаланс вызывают сильные вибрации.

Убедитесь, что рама жёсткая и все винты затянуты.

В Betaflight включите или усильте фильтры (RPM-фильтрация, Low- и High-pass фильтры) и проверьте частоту гироскопа.

Если вибрации остаются, попробуйте заменить пропеллеры или моторы.

Итог: Устраните механические причины вибраций (рама, пропеллеры, крепление FC) и настройте фильтры в Betaflight для подавления шума.

Задача 3.

Вы собираете дрон для фристайла: нужна высокая манёвренность и резкие повороты. Какой набор компонентов (рама, моторы, пропеллеры, батарея) и какие базовые настройки Betaflight вы бы выбрали?

Решение:

Рама: 5-дюймовая карбоновая, жёсткая, с низким CG (центром тяжести).

Моторы: 2207 или 2306 с KV 1800–2000 для быстрых откликов.

Пропеллеры: 5,1×3,6 или 5,2×3,4 — лёгкие, с умеренным шагом для баланса тяги и манёвренности.

Батарея: 6S 1300–1500 mAh — достаточно ёмкая, но не слишком тяжёлая.

В Betaflight: высокая частота гироскопа (32 kHz), RPM-фильтрация включена, PID-коэффициенты настроены под агрессивный стиль, фильтры усилены для стабильности.

Итог: Для фристайла выбирайте лёгкие и жёсткие компоненты, сбалансированные пропеллеры и агрессивные, но стабильные настройки Betaflight.

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ: ОТ ЗЕМЛИ ДО ВОЗДУХА

Глава 3. Классы и размеры рам: от Toothpick до Long Range — как выбрать свой первый каркас

Рама — это скелет дрона: именно она определяет, как аппарат будет вести себя в воздухе, насколько он прочен, сколько полезной нагрузки сможет нести и насколько удобно его обслуживать. Для пилота, который только начинает работать с Betaflight, выбор рамы — не просто

вопрос эстетики: от геометрии и размера напрямую зависят настройки PID, фильтры, реакция на стики и даже стабильность полёта в ветреную погоду.

Основные классы рам и их назначение

Toothpick и TinyWhoop (65–100 мм) — ультралёгкие рамы для помещений и полётов в стеснённых условиях. Их главная фишка — минимальный вес и высокая безопасность: такие дроны редко наносят серьёзные повреждения при столкновении. В Betaflight для них критичны низкие значения фильтра Gyro и аккуратная настройка экспонент, потому что малейшие задержки в управлении сразу ощущаются.

2–3 дюйма (100–130 мм) — переходная категория: уже можно летать на улице, но без сильного ветра. Эти рамы часто берут для обучения и съёмки в помещении. В настройках Betaflight стоит уделить внимание мягкому режиму Angle и плавным переходам между Angle/Асro, чтобы новичок мог безопасно осваивать акробатику.

5 дюймов (210–220 мм по диагонали) — «золотой стандарт» для FPV. Это универсальный размер: на нём одинаково удобно тренироваться, снимать видео и участвовать в гонках. Для 5-дюймовых рам в Betaflight чаще всего используют классическую схему фильтров (RPM-фильтрация, Low Pass на гироскопе) и более агрессивные PID-коэффициенты.

6–7 дюймов и больше — тяжёлые рамы для дальних полётов (Long Range) и перевозки полезной нагрузки. Из-за большого веса и инерции такие дроны требуют более плавных настроек и увеличенных фильтров: резкие реакции здесь скорее мешают, чем помогают.

Геометрия рамы: почему форма влияет на полёт

True-X — классическая «крестообразная» рама, где все лучи равны. Даёт симметричную инерцию и предсказуемое поведение в акробатике.

Deadcat — у такой рамы передние лучи длиннее задних. Это нужно, чтобы камера не попадала в поток от пропеллеров и не получала вибраций. В Betaflight такая геометрия требует небольшой корректировки развесовки в настройках, чтобы компенсировать смещение центра масс.

Stretch X — вытянутая по продольной оси рама. Она делает дрон более стабильным по тангажу и отзывчивым по крену. Хорошо подходит для фристайла и плавных пролётов.

На что смотреть при выборе первой рамы

Толщина карбона. Для новичка оптимальна толщина плеч 5 мм: это баланс между прочностью и весом. Тонкие плечи (3 мм) быстрее ломаются при крашах.

Стандарт крепления полётного контроллера. Самый распространённый — 30,5×30,5 мм. Если рама поддерживает только нестандартные размеры, могут возникнуть проблемы с совместимостью.

Возможность замены отдельных лучей. Это сильно экономит бюджет: при аварии не придётся менять всю раму целиком.

Защита электроники. В некоторых рамах предусмотрены отсеки или перегородки, которые уменьшают риск повреждения FC и ESC при ударах.

Как размер рамы влияет на настройки Betaflight

Лёгкие и маленькие рамы (Toothpick, TinyWhoop) требуют минимальных задержек и очень аккуратной фильтрации: любая избыточная фильтрация делает дрон «ватным».

Средние и тяжёлые рамы (5 дюймов и выше) позволяют использовать более сильные фильтры и агрессивные PID: инерция аппарата сглаживает мелкие шумы.

Long Range — здесь приоритет на стабильность и низкий уровень вибраций: в Betaflight ставят более низкие частоты фильтров и добавляют RPM-фильтрацию, если моторы поддерживают DShot.

Выбор первой рамы — это компромисс между тем, что хочется делать (гонки, фристайл, дальние полёты) и тем, сколько крашей вы готовы пережить. Для старта лучше всего подойдёт 5-дюймовая рама в формате True-X или Deadcat: она прощает ошибки, даёт хороший опыт настройки и позволяет плавно переходить к более сложным задачам.

10 вопросов с ответами

Вопрос: Чем отличается Toothpick от 5-дюймовой рамы по поведению в полёте?

Ответ: Toothpick легче и быстрее реагирует на команды, но сильнее подвержен ветру. 5-дюймовый дрон тяжелее, стабильнее и лучше держит курс, но требует более точной настройки фильтров в Betaflight.

Вопрос: Какой размер рамы лучше выбрать новичку для первых полётов?

Ответ: Оптимальный вариант — 5 дюймов: он универсален, прощает ошибки и позволяет освоить базовые настройки Betaflight без экстремальных требований к пилотированию.

Вопрос: Что такое Deadcat-рама и зачем она нужна?

Ответ: Deadcat — это рама с удлинёнными передними лучами, чтобы камера находилась вне турбулентного потока от пропеллеров. Это снижает вибрации и улучшает качество видео.

Вопрос: Как толщина карбоновых плеч влияет на эксплуатацию дрона?

Ответ: Более толстые плечи (5 мм) прочнее и дольше служат при крашах, но добавляют вес. Тонкие (3 мм) легче, но быстрее ломаются.

Вопрос: Почему важно учитывать стандарт крепления полётного контроллера?

Ответ: Если рама не поддерживает стандартный размер FC (30,5×30,5 мм), придётся использовать переходные пластины или искать редкие платы, что усложняет сборку и увеличивает риск ошибок.

Вопрос: Влияет ли геометрия рамы на настройки PID в Betaflight?

Ответ: Да: разные формы (True-X, Deadcat, Stretch X) имеют разную инерцию по осям. Это требует корректировки коэффициентов PID и фильтров для сбалансированного поведения.

Вопрос: Зачем в Long Range-рамах используют более сильные фильтры?

Ответ: Большие и тяжёлые дроны летают на больших расстояниях и скоростях, поэтому в Betaflight усиливают фильтрацию, чтобы убрать вибрации и шумы, которые могут мешать стабильности.

Вопрос: Можно ли ставить 5-дюймовую раму на TinyWhoop-моторы?

Ответ: Нет: моторы TinyWhoop не рассчитаны на вес и инерцию 5-дюймового дрона. Это приведёт к перегреву и поломке электроники.

Вопрос: Что важнее при выборе рамы: вес или прочность?

Ответ: Для новичка важнее прочность: частые краши неизбежны, и рама должна выдерживать удары. Вес становится критичным, когда пилот уже уверенно управляет дроном.

Вопрос: Как понять, что рама не подходит под планируемую задачу?

Ответ: Если дрон слишком лёгкий для ветра, слишком тяжёлый для манёвров или не вмещает нужную электронику — это признаки того, что рама выбрана неверно.

3 задачи с решением

Задача 1.

Вы собираете первый дрон и хотите летать в помещении и на улице без сильного ветра. Какой класс рамы и размер вы выберете и почему?

Решение:

Лучше всего подойдёт 5-дюймовая рама (210–220 мм) в формате True-X. Она универсальна: достаточно стабильна для улицы и достаточно манёвренна для помещений. Толщина плеч — 5 мм для прочности. Такой выбор позволит освоить базовые настройки Betaflight и не тратить бюджет на частые замены рамы.

Задача 2.

У вас есть камера, которая сильно вибрирует при полёте на 5-дюймовом дроне. Какие изменения в выборе рамы помогут решить проблему?

Решение:

Нужно перейти на Deadcat-раму с удлинёнными передними лучами: это вынесет камеру из турбулентного потока пропеллеров. Также стоит проверить крепление камеры и добавить демпферы. В Betaflight можно усилить фильтрацию и включить RPM-фильтрацию для снижения вибраций.

Задача 3.

Вы планируете дальние полёты (Long Range) с полезной нагрузкой. Какую раму выбрать и какие настройки в Betaflight учесть?

Решение:

Подойдёт рама 6–7 дюймов с усиленными плечами (5–6 мм карбон). Геометрия — True-X или Stretch X для стабильности. В Betaflight нужно поставить более низкие частоты фильтров, добавить RPM-фильтрацию и немного снизить агрессивность PID, чтобы дрон был плавным и стабильным на больших дистанциях.

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ: ОТ ЗЕМЛИ ДО ВОЗДУХА

Глава 4. Полётный контроллер: мозг вашего дрона, от F4 до F7 и выше

Представьте, что дрон — это живое существо. Рама — его скелет, моторы — мышцы, аккумуляторы — энергия. А полётный контроллер (Flight Controller, FC) — это мозг: он непре-

рывно считывает показания датчиков, понимает, куда дрон хочет лететь, и в тысячные доли секунды корректирует обороты моторов, чтобы аппарат не кувыркнулся и не улетел в стену.

В мире FPV-дронов под «мозгом» почти всегда понимают связку: плата полётного контроллера + прошивка Betaflight. Именно Betaflight превращает «кусочек текстолита с чипом» в полноценный автопилот для ручного полёта, фристайла и гонок. Но сама по себе прошивка ничего не сделает без «железа», на котором она работает. И здесь на сцену выходят микроконтроллеры серий F4, F7 и H7 — от них напрямую зависят скорость реакции дрона, стабильность полёта и то, сколько периферии вы сможете к нему подключить.

Что делает полётный контроллер

Полётный контроллер решает три главные задачи:

Считывает данные с датчиков. Гироскоп (IMU) измеряет угловую скорость по трём осям — именно он первым «чувствует», что дрон начал заваливаться. Акселерометр дополняет картину, помогая в режимах стабилизации. В продвинутых платах есть ещё барометр (для удержания высоты) и компас (для ориентации по сторонам света).

Выполняет расчёты стабилизации. На основе показаний датчиков и команд пилота FC запускает PID-регуляторы — математические алгоритмы, которые говорят моторам, насколько нужно прибавить или убавить обороты, чтобы вернуть дрон в нужное положение. Чем быстрее процессор, тем чаще он может пересчитывать эти значения — и тем «острее» и стабильнее будет полёт.

Раздаёт команды регуляторам оборотов (ESC). Через сигналы PWM/DShot полётный контроллер управляет четырьмя (или более) моторами, превращая абстрактные «градусы наклона» в реальные обороты пропеллеров.

Кроме этого, FC — это ещё и «коммуникационный узел»: он принимает команды от приёмника, передаёт телеметрию на видеопередатчик, записывает логи полётов и управляет дополнительными устройствами (сервоприводами, светодиодами, GPS и т. д.) через последовательные порты (UART), шины I²C и CAN.

F4, F7, H7: в чём разница

Когда говорят «контроллер на F4» или «на F7», имеют в виду серию микроконтроллеров STM32, которые стоят на плате. Это как сравнивать процессоры в компьютерах: более новая серия обычно быстрее, имеет больше памяти и портов.

F4 (например, STM32F405/F411). Это «золотая середина» для большинства FPV-сборки. F405 — один из самых популярных чипов: у него достаточно производительности для стабильного PID на 32–48 кГц, хороший объём памяти и достаточное количество UART-портов для приёмника, видеопередатчика и телеметрии. F411 — более компактный и бюджетный вариант, но с меньшим числом портов и памяти, поэтому он чаще встречается в микросборках (Toothpick).

F7 (STM32F722/F745). Это уже «продвинутый уровень». F7-контроллеры работают на более высоких тактовых частотах и позволяют запускать PID на 48–64 кГц и выше, что даёт более плавную и отзывчивую стабилизацию. У них больше памяти для логов и больше UART-портов — это критично, если вы планируете подключать много периферии (GPS, компас, телеметрия ESC, внешние модули). F745 дополнительно имеет увеличенную флеш-память, что полезно для сложных конфигураций.

H7 (STM32H743/H750). Это топовый сегмент. H7-чипы дают максимальную вычислительную мощность и могут поддерживать очень высокие частоты PID-цикла, а также сложные алгоритмы фильтрации. Однако для обычного FPV-фристайла или гонок прирост от H7

часто не ощущается, а цена заметно выше. Такие платы выбирают для продвинутых сборок, где важна максимальная гибкость и запас по ресурсам.

Важно понимать: сама по себе серия чипа — не гарантия успеха. Нужно смотреть на конкретную плату: сколько UART-портов реально доступно, есть ли встроенный барометр или слот microSD, какой ВЕС (стабилизатор напряжения) установлен, какие разъёмы и размеры. Иногда «простой» F4 с удачной разводкой оказывается удобнее, чем «навороченный» F7 с неудобной компоновкой.

Как Betaflight использует возможности «железа»

Betaflight — это не просто «прошивка», а целый программный комплекс, который максимально выжимает из полётного контроллера всё возможное. Вот как это работает:

PID-цикл. Betaflight запускает PID-расчёты в отдельном цикле с фиксированной частотой (например, 32 кГц, 48 кГц или 64 кГц). Чем выше частота, тем быстрее дрон реагирует на возмущения. F7 и H7 позволяют уверенно работать на высоких частотах без потери производительности.

Фильтры. Для чистоты сигнала Betaflight применяет различные фильтры (RPM-фильтрация, notch-фильтры и др.), чтобы убрать вибрации от моторов и сделать полёт более плавным. Эти фильтры требуют вычислительных ресурсов — более мощные чипы позволяют использовать более сложные схемы фильтрации.

Blackbox-логи. Betaflight записывает подробные логи полёта во внутреннюю память или на microSD-карту. По этим логам можно анализировать поведение дрона, настраивать PID и искать проблемы. Объём и скорость записи зависят от возможностей чипа и платы.

Периферия и протоколы. Betaflight поддерживает множество протоколов связи (SBUS, CRSF, IBUS, ELRS и др.) и устройств. Количество и тип доступных UART-портов определяют, сколько устройств вы сможете подключить одновременно.

Практические советы по выбору полётного контроллера

Если вы собираете первый дрон и хотите максимальной совместимости и простоты, ориентируйтесь на платы с F405: это проверенный вариант для фристайла, гонок и любительских съёмок. Если планируете продвинутую периферию (GPS, компас, сложная телеметрия) или хотите «запас на будущее», выбирайте F722 или F745. H7 имеет смысл, если вы точно знаете, зачем он вам (например, для экспериментальныхборок или специфических задач).

Всегда проверяйте:

Target и поддержку Betaflight. Не все платы одинаково хорошо работают с Betaflight — сверяйтесь с официальной матрицей поддерживаемых плат.

Количество и доступность UART. Подсчитайте, сколько устройств вы хотите подключить, и убедитесь, что портов хватит.

Питание и ВЕС. Проверьте, какое напряжение и ток может выдавать встроенный стабилизатор — это важно для питания приёмника, видеопередатчика и другой периферии.

Форм-фактор и монтаж. Платы бывают 30×30 мм, 20×20 мм и другие — выбирайте тот, который подходит к вашей раме.

Помните: полётный контроллер — это основа, на которой строится весь дрон. Грамотный выбор платы сэкономит вам часы настройки, сделает полёт приятнее и позволит без проблем добавлять новые функции по мере роста ваших навыков.

10 вопросов с ответами

Вопрос: Что такое полётный контроллер и какую роль он играет в FPV-дроне?

Ответ: Полётный контроллер (FC) — это «мозг» дрона: он считывает данные с датчиков, рассчитывает стабилизацию с помощью PID-алгоритмов и управляет моторами через ESC, а также связывает между собой все устройства (приёмник, видеопередатчик, периферию).

Вопрос: Чем отличаются микроконтроллеры F4, F7 и H7 в контексте Betaflight?

Ответ: F4 — оптимальный баланс цены и возможностей; F7 — выше производительность, больше портов и памяти; H7 — максимальная вычислительная мощность для сложных задач. В Betaflight это влияет на частоту PID-цикла, сложность фильтров и объём логов.

Вопрос: Почему частота PID-цикла важна для полёта?

Ответ: Чем выше частота PID-цикла (например, 48 или 64 кГц), тем быстрее контроллер пересчитывает команды для моторов и тем отзывчивее и стабильнее полёт.

Вопрос: Какие датчики обычно находятся на полётном контроллере?

Ответ: Основные — гироскоп и акселерометр (часто в одной микросхеме IMU). Дополнительно могут быть барометр (высота) и компас (ориентация).

Вопрос: Зачем нужны UART-порты на полётном контроллере?

Ответ: UART-порты нужны для подключения периферийных устройств: приёмника, видеопередатчика, GPS, телеметрии ESC, внешних модулей и т. п.

Вопрос: Как Betaflight использует Blackbox-логи?

Ответ: Betaflight записывает подробные данные о полёте (показания датчиков, команды, ошибки) во внутреннюю память или microSD. По логам анализируют поведение дрона и настраивают PID.

Вопрос: Можно ли ставить Betaflight на любую плату?

Ответ: Нет. Betaflight поддерживает только определённые платы с конкретными target-профилями. Совместимость проверяют по официальной матрице плат.

Вопрос: В чём разница между F405 и F411?

Ответ: F405 — более универсальный и мощный чип с большим числом портов и памяти. F411 — компактный и бюджетный, чаще используется в микросборках, но имеет меньше ресурсов.

Вопрос: Что такое BEC и зачем он нужен на полётном контроллере?

Ответ: BEC (Battery Eliminator Circuit) — это стабилизатор напряжения, который питает периферийные устройства (приёмник, VTX и др.) от основного аккумулятора. Он должен выдавать нужное напряжение и ток.

Вопрос: На что в первую очередь смотреть при выборе полётного контроллера?

Ответ: На target и поддержку Betaflight, количество и доступность UART, мощность BEC, форм-фактор, наличие нужных датчиков и слотов (microSD), а также на удобство монтажа и разводку платы.

3 задачи с решением

Задача 1.

Вы собираете фристайл-дрон 5 дюймов и планируете использовать приёмник ELRS, видеопередатчик с MSP, телеметрию ESC и GPS. Сколько UART-портов вам понадобится минимум и какую серию микроконтроллера лучше выбрать?

Решение:

Приёмник ELRS — 1 UART.

Видеопередатчик с MSP — 1 UART.

Телеметрия ESC — 1 UART (или общий канал, зависит от конфигурации).

GPS — 1 UART.

Итого минимум 3–4 UART. Лучше выбрать плату на F7 (F722/F745): у неё больше портов и ресурсов для такой конфигурации.

Задача 2.

Ваш дрон «дрожит» в полёте и плохо держит позицию. Вы подозреваете, что проблема в настройках PID и фильтрах. Какие возможности полётного контроллера помогут решить эту проблему?

Решение:

Понадобится плата с достаточной вычислительной мощностью (F7 или H7), чтобы использовать продвинутые фильтры (RPM-фильтрацию, notch-фильтры) и более высокую частоту PID-цикла. Также полезно вести Blackbox-логи для анализа вибраций и точной настройки фильтров.

Задача 3.

Вы хотите собрать лёгкий Toothpick-дрон и уложиться в минимальный вес и размер. Какую серию микроконтроллера и форм-фактор платы стоит выбрать, и на какие компромиссы придётся пойти?

Решение:

Выбирайте плату на F411 в форм-факторе 20×20 мм или меньше. Компромиссы: меньше UART-портов, меньше памяти для логов, ограниченные возможности по периферии. Для простого Toothpick-дрона этого обычно достаточно, а выигрыш в весе и размере оправдывает ограничения.

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ: ОТ ЗЕМЛИ ДО ВОЗДУХА

Глава 5. Регуляторы оборотов (ESC): BlueJay, AM32, прошивка и протоколы — что выбрать в 2026 году

Почему ESC — это не просто «коробка с током»

Когда новичок смотрит на электронный регулятор оборотов (ESC), он видит плату, три толстых провода и один тонкий сигнальный. Опытный пилот знает: это один из самых «умных» узлов коптера. ESC не просто подаёт ток на мотор — он коммутирует фазы, сглаживает пики, интерпретирует команды полётного контроллера и в современных сборках ещё и возвращает телеметрию: обороты, температуру, ошибки. В связке с Betaflight именно ESC определяет, насколько «остро» и стабильно дрон будет реагировать на стик, и насколько долго проживёт силовая часть при жёстких режимах.

В 2026 году рынок ESC стабилизировался: ушли в прошлое эксперименты с аналоговыми протоколами для гонок, а стандартом де-факто стал цифровой DShot с двунаправленной телеметрией. Но выбор между прошивками BlueJay и AM32 по-прежнему влияет на гибкость настройки, совместимость и долговечность сборки.

Прошивки: BlueJay и AM32 — в чём разница

BlueJay — это открытая прошивка-преемник для плат на базе BLHeli_S. Её главная сила — предсказуемость и зрелость кода: в 2026 году BlueJay поддерживает DShot150/300/600, двунаправленный DShot (RPM-телеметрия), расширенные фильтры старта и защиту от десинхронизации. BlueJay особенно ценят в FPV-гонке и техничном фристайле: она даёт тонкую настройку таймингов и стартовой мощности, что критично для «злых» моторов и лёгких рам.

AM32 — прошивка для 32-битных ESC на ARM-контроллерах. Она ориентирована на универсальность и расширенную телеметрию: помимо RPM, AM32 умеет отдавать ток, напряжение и температуру по отдельному UART-каналу или через Extended DShot. Это удобно для логгеров, автономных миссий и сложных сборок с мониторингом. Для съёмочных дронов и дальнолётов AM32 часто предпочтительнее: стабильность и информативность важнее экстремальной агрессивности отклика.

Важно: BlueJay не ставят на 32-битные ESC, а AM32 не прошивают на «старые» BLHeli_S платы. Ошибка в выборе прошивки под железо — это риск «окирпичивания» ESC.

Протоколы: от PWM до DShot

PWM — аналоговый протокол по длительности импульса. В 2026 году уместен только как запасной вариант для старого оборудования. Требуется калибровка диапазона газа, чувствителен к помехам и дрейфу.

OneShot/MultiShot — более быстрые аналоговые протоколы. Быстрее PWM, но всё ещё аналоговые, с дрейфом и чувствительностью к таймингу. Используются только для совместимости.

DShot — цифровой протокол с контрольной суммой. DShot150, 300 и 600 различаются скоростью передачи и, соответственно, задержкой. Для большинства современных сборок в Betaflight рекомендуют DShot300 или DShot600. Калибровка диапазона газа не требуется, а двунаправленный DShot даёт RPM-данные для фильтров.

DroneCAN — нишевый протокол для промышленных и мультироторных платформ с адресацией и расширенной телеметрией по шине. В любительских FPV-сборках почти не встречается.

Для Betaflight в 2026 году правило простое: если ESC поддерживает DShot — используйте его. Если есть двунаправленный DShot — включите RPM-фильтры в Betaflight: это заметно улучшает плавность полёта и снижает вибрации.

Как выбрать ESC под задачу

Выбор ESC — это всегда компромисс между током, напряжением, охлаждением, фактором и телеметрией.

Гоночный и техничный фристайл: ESC 4-in-1 на BlueJay с DShot600 и двунаправленным DShot. Ток подбирают с запасом 20–30% от пикового потребления мотора с пропеллером. Важны низкие задержки и тонкая настройка таймингов.

Съёмка и дальнолёты: ESC 4-in-1 или отдельные ESC на AM32 с расширенной телеметрией и хорошей терморегуляцией. Здесь важнее стабильность и мониторинг, чем экстремальная агрессивность.

Тяжёлые платформы и мультикоптеры: отдельные ESC с хорошим обдувом, поддержкой телеметрии по UART и запасом по току. Часто используют DShot300 для баланса стабильности и скорости.

Не ориентируйтесь только на маркировку «XX ампер». Реальный ток зависит от связки мотор–пропеллер–батарея. Стендовые замеры тока под нагрузкой — единственный надёжный способ подобрать ESC без перегрева.

Практические советы по интеграции в Betaflight

Перед первым включением снимите пропеллеры и проверьте отсутствие короткого замыкания между силовыми проводами. Используйте «smoke stopper» или ограничитель тока.

В Betaflight Configurator в вкладке Motors выберите протокол DShot, скорость — 300 или 600 в зависимости от ESC. Включите двунаправленный DShot, если поддерживается.

Проверьте RPM-ошибки после подачи питания: значение должно быть близко к нулю. Высокие ошибки — признак несовместимости прошивки, скорости DShot или плохого контакта.

Включите RPM-фильтры в Betaflight (RPM Filter) — это заметно улучшит качество полёта и снизит вибрации.

Не копируйте чужие пресеты ESC без понимания параметров. Тайминги, стартовая мощность и частота PWM должны соответствовать вашей винтомоторной группе.

Помните: ESC — это часть силовой системы. Даже самый «продвинутый» регулятор не спасёт сборку с плохой пайкой, тонкими проводами или батареей с высокой просадкой.

10 вопросов с ответами

Вопрос: Что делает ESC в коптере?

Ответ: ESC управляет трёхфазным бесколлекторным мотором: коммутирует фазы, регулирует скорость вращения по команде полётного контроллера, а в современных версиях ещё и отдаёт телеметрию (обороты, температуру, ток).

Вопрос: В чём принципиальная разница между BlueJay и AM32?

Ответ: BlueJay — прошивка для BLHeli_S-плат, ориентирована на скорость, тонкую настройку и гонки. AM32 — для 32-битных ARM-ESC, делает упор на универсальность, расширенную телеметрию и стабильность.

Вопрос: Какой протокол управления ESC лучше использовать в 2026 году?

Ответ: DShot (обычно DShot300 или DShot600). Он цифровой, имеет контрольную сумму, не требует калибровки газа и поддерживает двунаправленную телеметрию.

Вопрос: Можно ли поставить BlueJay на 32-битный ESC?

Ответ: Нет. BlueJay предназначена для BLHeli_S-плат. Попытка прошить её на 32-битное железо может привести к неработоспособности ESC.

Вопрос: Зачем нужна двунаправленная телеметрия DShot?

Ответ: Она передаёт данные об оборотах (eRPM) обратно в полётный контроллер. Betaflight использует эти данные для RPM-фильтров, что снижает вибрации и улучшает стабильность полёта.

Вопрос: Как правильно подобрать ток ESC?

Ответ: По пиковому току связки мотор–пропеллер под нагрузкой (лучше по стендовым замерам), с запасом 20–30%. Не ориентируйтесь только на номинал батареи.

Вопрос: Чем отличаются PWM, OneShot и DShot?

Ответ: PWM и OneShot — аналоговые протоколы по длительности импульса, чувствительны к помехам. DShot — цифровой протокол с контрольной суммой, более точный и стабильный.

Вопрос: Нужно ли калибровать диапазон газа при использовании DShot?

Ответ: Нет. DShot использует цифровые значения, калибровка диапазона не требуется.

Вопрос: Почему нельзя копировать чужие настройки ESC «как есть»?

Ответ: Параметры (тайминги, стартовая мощность, частота PWM) зависят от конкретной винтомоторной группы. Чужой пресет может вызвать десинхронизацию, рывки и перегрев.

Вопрос: Какие шаги обязательны перед первым включением ESC с моторами?

Ответ: Снять пропеллеры, проверить отсутствие КЗ между силовыми проводами, использовать ограничитель тока («smoke stopper»), проверить направление вращения и температуру после короткого теста.

3 задачи с решением

Задача 1.

У вас есть мотор 2306 1750 KV с пропеллером 5" и LiPo 4S. Стендовые замеры показали пиковый ток 38 А на моторе. Какой ток должен быть у каждого ESC в 4-in-1 плате? Дайте обоснование.

Решение:

Пиковый ток одного мотора — 38 А. Берём запас 25% для учёта просадки батареи, вибраций и кратковременных пиков: $38 \times 1,25 = 47,5$ А. Значит, ESC должны быть рассчитаны минимум на 50 А на канал. В случае 4-in-1 платы важно учитывать общий нагрев платы: при четырёх каналах по 50 А нужен хороший обдув и толстые дорожки.

Ответ: Не менее 50 А на канал с учётом запаса и теплового режима платы.

Задача 2.

Вы собрали дрон на ESC с прошивкой AM32 и включили DShot600 в Betaflight. При подаче питания RPM-ошибки держатся на уровне 100%. Назовите три возможные причины и шаги диагностики.

Решение:

Несовместимость скорости DShot: попробуйте DShot300.

Плохой контакт сигнального провода ESC–FC или неверная распиновка шлейфа. Проверьте мультиметром и визуально.

ESC не поддерживает двунаправленный DShot на этой скорости или в текущей конфигурации. Сверьте документацию платы и версию прошивки.

Ответ: Проверьте скорость DShot, контакты и поддержку двунаправленного DShot на вашей плате.

Задача 3.

Вам нужно собрать съёмочный дрон с телеметрией тока и температуры ESC. Какой тип ESC и прошивки вы выберете и почему?

Решение:

Выберите ESC (4-in-1 или отдельные) на прошивке AM32: она поддерживает расширенную телеметрию по UART или Extended DShot. Для съёмки важнее стабильность, мониторинг параметров и предсказуемое поведение, чем экстремальные настройки таймингов, которые даёт BlueJay.

Ответ: AM32 из-за поддержки расширенной телеметрии и ориентации на стабильность.

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ: ОТ ЗЕМЛИ ДО ВОЗДУХА

Глава 6. Моторы и пропеллеры: KV, статоры, аэродинамика — физика тяги простым языком

Когда вы впервые смотрите на FPV-дрон, кажется, что магия полёта рождается где-то в хитросплетении проводов и микросхем. Но настоящая сила — в паре «мотор + пропеллер». Именно они превращают электричество в тягу, а тягу — в полёт. В этой главе разберём, как устроены бесколлекторные моторы, что на самом деле значит KV, как размер статора влияет на мощность и почему пропеллер — это не просто «лопасти», а инженерный расчёт аэродинамики.

Сердце тяги: бесколлекторный мотор

В FPV-дронах используют бесколлекторные (BLDC) моторы — без щёток, с высокой эффективностью и долгим ресурсом. Упрощённо мотор состоит из двух частей: неподвижного статора с обмотками и вращающегося ротора с постоянными магнитами. Когда полётный контроллер через ESC подаёт ток на обмотки, возникает вращающееся магнитное поле, которое тянет за собой ротор.

Ключевой параметр — **KV**. Это количество оборотов в минуту на 1 вольт без нагрузки. Мотор 2300 KV при напряжении 12,6 В (3S) будет стремиться раскрутиться примерно до 28 980 об/мин. Важно понимать: KV не говорит о мощности напрямую. Это передаточное отношение «напряжение → обороты». Высокий KV даёт больше оборотов, но требует больше тока; низкий KV — меньше оборотов, но выше крутящий момент при том же токе.

Размер статора принято указывать в формате **XXYY**, например 2207: 22 мм — диаметр, 7 мм — высота. Чем больше статор, тем больше меди в обмотках и сильнее магнитное поле — значит, выше крутящий момент и способность «крутить» тяжёлые пропеллеры. Но больший мотор тяжелее и потребляет больше тока.

Пропеллер: аэродинамика в миниатюре

Пропеллер — это крыло, которое крутится. Его задача — отбрасывать воздух вниз, создавая подъёмную силу по третьему закону Ньютона. Основные параметры:

Диаметр — размер круга, который описывают лопасти.

Шаг (pitch) — условный угол атаки, показывающий, на какое расстояние винт «продвинулся бы» за один оборот в твёрдой среде. Например, 5×4,5 означает диаметр 5 дюймов, шаг 4,5 дюйма.

Форма лопасти (например, *bullnose* — закруглённый нос) влияет на площадь захвата воздуха. Bullnose даёт больше тяги на низких оборотах, но и больше сопротивления — растёт потребление тока. Тонкие «акулы» лопасти эффективнее на высоких оборотах и дают лучшую скорость, но чуть меньше тяги на старте.

Важно: пропеллеры бывают **CW** (по часовой стрелке) и **CCW** (против часовой). На квадрокоптере два мотора крутятся CW, два — CCW, чтобы компенсировать реактивный момент и держать дрон стабильным.

Как мотор и пропеллер работают вместе

Тяга — это результат взаимодействия мотора и пропеллера. Если поставить слишком большой пропеллер на мотор с высоким KV, он будет «захлёбываться»: обороты будут высокими, но из-за сопротивления воздуха эффективность упадёт, а ток резко вырастет. И наоборот: маленький пропеллер на низко-KV моторе даст мало тяги и вялый старт.

В Betaflight вы не настраиваете мотор напрямую — вы настраиваете ESC и полётный контроллер, а синергия «мотор + пропеллер» проявляется в поведении дрона. Но понимание этой связи критично для выбора компонентов и диагностики проблем: если дрон «не тянет», греется мотор или быстро садится аккумулятор — чаще всего причина в несоответствии пары.

Практическое правило: для 5-дюймового FPV-дрона типичная связка — моторы 2207, 2300–2500 KV, пропеллеры 5×4,5 или 5,1×4,2. Для дальнолётов берут низко-KV моторы (1900–2100) и более лёгкие пропеллеры — приоритет на эффективность, а не на пиковую тягу.

Баланс мощности, тока и тепла

Любой мотор имеет предел по току и температуре. Превышение — это потеря эффективности, деградация магнитов и риск выхода из строя. Пропеллеры напрямую определяют нагрузку: чем больше диаметр и шаг, тем выше ток.

Тепло отводится через корпус и поток воздуха. Если пропеллер слишком тяжёлый, мотор греется даже на средних газах. В Betaflight можно отслеживать телеметрию (ток, температуру, обороты), чтобы вовремя заметить перегрузку.

10 вопросов с ответами

Что означает параметр KV у бесколлекторного мотора?

Ответ: KV — это количество оборотов в минуту, которое мотор сделает на 1 вольт напряжения без нагрузки. Например, мотор 2300 KV при 12,6 В стремится к ~28 980 об/мин.

Чем отличается мотор 2207 от 2306?

Ответ: 2207 имеет статор 22×7 мм, 2306 — 23×6 мм. Первый выше и обычно даёт больше крутящего момента, второй шире и может быть чуть легче, но с меньшим моментом.

Как диаметр и шаг пропеллера влияют на поведение дрона?

Ответ: Большой диаметр даёт больше тяги, но требует больше мощности. Большой шаг увеличивает «агрессивность» винта: растёт тяга на высоких оборотах, но растёт и ток.

Зачем нужны пропеллеры CW и CCW?

Ответ: Чтобы компенсировать реактивный момент вращения. На квадрокоптере два пропеллера крутятся по часовой стрелке, два — против, обеспечивая стабильность по оси вращения.

Почему нельзя ставить слишком большой пропеллер на высоко-KV мотор?

Ответ: Это приводит к чрезмерному току, перегреву мотора и падению эффективности. Мотор будет быстро достигать максимальных оборотов, но не сможет эффективно «продавить» воздух.

Что такое bullnose-пропеллер и в чём его преимущество?

Ответ: Bullnose — пропеллер с закруглённым носом лопасти. Он даёт больше тяги на низких и средних оборотах за счёт увеличенной площади захвата воздуха, но потребляет больше тока.

Как выбрать связку «мотор + пропеллер» для 5-дюймового дрона?

Ответ: Типичная связка: моторы 2207, 2300–2500 KV, пропеллеры 5×4,5 или 5,1×4,2. Выбор зависит от стиля полёта: гонки — больше тяги и отклика, фристайл — баланс тяги и манёвренности.

Как в Betaflight отслеживать нагрузку на моторы?

Ответ: Через телеметрию: ток, напряжение, обороты (RPM), температуру (если поддерживается). Эти данные помогают избежать перегрузки и перегрева.

Почему мотор греется при полёте?

Ответ: Из-за высокой нагрузки (тяжёлый пропеллер, агрессивный стиль полёта), превышения тока, плохого отвода тепла или несоответствия пары «мотор + пропеллер».

Можно ли ставить одинаковые пропеллеры на все моторы?

Ответ: Да, но обязательно чередуя CW и CCW. Все пропеллеры должны быть одной модели и сбалансированы, чтобы избежать вибраций и перекаса тяги.

3 задачи с решением

Задача 1.

У вас мотор 2400 KV и аккумулятор 4S (14,8 В). Рассчитайте ожидаемые обороты без нагрузки.

Решение:

$2400 \times 14,8 = 35\,520$ об/мин. Это теоретический максимум без нагрузки; под пропеллером обороты будут ниже из-за сопротивления воздуха.

Задача 2.

Вы хотите собрать фристайл-дрон на 5-дюймовых пропеллерах. Какие моторы и пропеллеры вы выберете и почему?

Решение:

Подойдут моторы 2207, 2300–2400 KV и пропеллеры 5×4,5 или 5,1×4,2. Такой выбор даёт хороший баланс тяги и отзывчивости, позволяет выполнять манёвры без чрезмерного тока и перегрева.

Задача 3.

После сборки дрон плохо стартует, греется один из моторов, а аккумулятор быстро садится. Назовите три возможные причины и способы диагностики.

Решение:

Несоответствие пропеллера и мотора (слишком тяжёлый винт). Проверьте рекомендуемые пропеллеры для вашего KV.

Неправильная ориентация пропеллеров (все CW или CCW). Убедитесь, что пропеллеры чередуются по направлению.

Перегрузка ESC или мотора. Проверьте телеметрию в Betaflight: ток, температуру, RPM. При необходимости замените пропеллеры на более лёгкие или моторы на низко-KV.

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ: ОТ ЗЕМЛИ ДО ВОЗДУХА

Глава 7. Радиоприёмник и протоколы управления: ELRS, Crossfire, SBUS — что реально важно

Представьте: вы стоите на краю поля, дрон уже прогрет, моторы тихо гудят, и всё, что отделяет вас от идеального полёта, — это невидимая нить связи между пультом и коптером. Эта «нить» — радиоканал, а её прочность, скорость и надёжность зависят от приёмника и протокола управления. В мире FPV-дронов именно здесь решается, будет ли ваш полёт свободным или закончится внезапным падением из-за потери сигнала.

Радиоприёмник (RX) — это «уши» дрона: он ловит команды с пульта (TX) и передаёт их полётнику. Но сам по себе приёмник — лишь часть системы: критически важен протокол, по которому эти данные идут. Сегодня в FPV-сообществе доминируют три подхода: SBUS как базовый транспортный слой, CRSF как современный стандарт и экосистемы на его базе — ELRS и Crossfire.

SBUS: старая школа с высокой плотностью данных

SBUS (Serial Bus) — протокол последовательной передачи данных, разработанный Futaba, но ставший де-факто стандартом для многих приёмников. Его главная фишка — передача до 16 каналов управления по одному проводу с частотой обновления до 20 мс. Для аналоговых систем и простых дронов этого достаточно, но в современном FPV SBUS чаще выступает как промежуточный интерфейс: приёмник принимает сигнал по CRSF, а на полётник отдаёт уже в SBUS.

Минус SBUS — чувствительность к помехам и отсутствие встроенной телеметрии. Если вы строите бюджетный учебный дрон — SBUS подойдёт. Если нужен надёжный фристайл или гонки — лучше смотреть в сторону CRSF.

CRSF: современный стандарт с телеметрией

CRSF (Crossfire Serial Protocol) — протокол, созданный TBS (Team BlackSheep) как основа для Crossfire, но сегодня ставший индустриальным стандартом. Его используют и ELRS, и Crossfire, и многие другие системы. CRSF передаёт не только команды управления, но и телеметрию: напряжение батареи, RSSI (уровень сигнала), координаты и даже данные с датчиков. Частота обновления может достигать 500 Гц, а задержка — оставаться ниже 10 мс.

Для Betaflight CRSF — это «родной» протокол: в конфигураторе вы просто выбираете тип приёмника CRSF, и система автоматически подхватывает все каналы и телеметрию. Это делает настройку быстрой и предсказуемой.

ELRS: скорость, доступность, сообщество

ExpressLRS (ELRS) — открытая радиосистема на базе CRSF, ставшая хитом последних лет. Она существует в двух версиях: 2.4 ГГц (для фристайла и гонок) и 900 МГц (для дальних полётов). ELRS славится низкой задержкой (менее 10 мс на 2.4 ГГц), высокой помехоустойчивостью и доступной ценой. Благодаря открытому коду сообщество постоянно улучшает прошивку, добавляя новые функции и оптимизируя алгоритмы.

ELRS идеально подходит для пилотов, которые хотят максимум производительности за разумные деньги. Он легко интегрируется с Betaflight, поддерживает телеметрию и позволяет гибко настраивать мощность передатчика.

Crossfire: дальность и надёжность любой ценой

TBS Crossfire — это премиум-решение для тех, кому нужна максимальная дальность и стабильность. Система работает на 900 МГц, использует модуляцию LoRa и может обеспечивать связь на десятки километров. Crossfire особенно популярен в long-range и кинематографических полётах, где потеря сигнала недопустима.

Однако у Crossfire есть свои компромиссы: высокая стоимость оборудования, более сложная настройка и чуть большая задержка по сравнению с ELRS. Тем не менее, для задач, где важна надёжность, Crossfire остаётся эталоном.

Как выбрать: практические ориентиры

Для фристайла и гонок: ELRS 2.4 ГГц — низкая задержка, хорошая помехоустойчивость, доступная цена.

Для дальних полётов: ELRS 900 МГц или Crossfire — максимальная дальность и стабильность.

Для обучения и бюджетных проектов: SBUS или простые CRSF-приёмники — достаточно для старта.

Для профессиональных задач: Crossfire с телеметрией и резервированием — максимальная надёжность.

В Betaflight настройка приёмника сводится к выбору типа (CRSF/SBUS), проверке каналов и калибровке стиков. Телеметрия активируется отдельной галочкой, а RSSI и напряжение батареи сразу отображаются на OSD.

Помните: лучший протокол — тот, который решает вашу задачу. Не гонитесь за модой: выбирайте систему, которая соответствует стилю полётов, бюджету и требованиям к надёжности. И всегда имейте план на случай потери сигнала — Failsafe в Betaflight должен быть настроен до первого взлёта.

10 вопросов с ответами

Вопрос 1. В чём основное отличие SBUS от CRSF?

Ответ. SBUS передаёт только команды управления без телеметрии и имеет фиксированную частоту обновления; CRSF поддерживает телеметрию, гибкую настройку частоты и более низкую задержку.

Вопрос 2. Почему ELRS стал так популярен в FPV-сообществе?

Ответ. Благодаря сочетанию низкой задержки, высокой дальности, открытого кода, доступной цены и активной поддержки сообщества.

Вопрос 3. Какой протокол лучше выбрать для гоночного дрона?

Ответ. ELRS на 2.4 ГГц: минимальная задержка и высокая частота обновления обеспечивают точный контроль.

Вопрос 4. Зачем нужна телеметрия в CRSF?

Ответ. Телеметрия передаёт данные о состоянии дрона (напряжение, RSSI, координаты) на пульт, позволяя пилоту принимать решения в реальном времени и избегать аварийных ситуаций.

Вопрос 5. Можно ли использовать ELRS и Crossfire одновременно на одном дроне?

Ответ. Нет, на одном дроне используется один радиоканал. Однако можно иметь два приёмника (например, ELRS для основного управления и резервный Crossfire) с системой резервирования.

Вопрос 6. Как в Betaflight настроить приёмник CRSF?

Ответ. В конфигураторе выбрать тип приёмника CRSF, подключить RX к UART-порту полётника, задать правильную скорость (baud rate), сохранить и перезагрузить.

Вопрос 7. Что такое RSSI и зачем он нужен?

Ответ. RSSI (Received Signal Strength Indicator) — показатель уровня сигнала. Он помогает пилоту понять, насколько далеко дрон находится от пульта и когда возможна потеря связи.

Вопрос 8. В чём преимущество 900 МГц перед 2.4 ГГц в ELRS?

Ответ. 900 МГц лучше проникает через препятствия и обеспечивает большую дальность, но имеет чуть большую задержку и меньшую скорость передачи данных.

Вопрос 9. Почему Crossfire дороже ELRS?

Ответ. Из-за проприетарной технологии, премиального качества сборки, закрытой экосистемы и ориентации на профессиональное использование.

Вопрос 10. Что такое Failsafe и как его настроить в Betaflight?

Ответ. Failsafe — режим автоматического поведения дрона при потере сигнала. В Betaflight можно задать удержание позиции, возврат домой или посадку. Настройка происходит в вкладке Receiver, где задаются действия для каждого канала при потере связи.

3 задачи с решением

Задача 1. Вы собираете фристайл-дрон для полётов в городе. Бюджет ограничен, но нужна минимальная задержка. Какой радиокомплект выбрать и почему?

Решение. Выберите ELRS на 2.4 ГГц. Этот вариант обеспечивает задержку менее 10 мс, хорошую помехоустойчивость в городских условиях и доступную цену. Подойдут модули от Radiomaster или Happymodel. В Betaflight настройте частоту обновления 250–500 Гц для максимальной отзывчивости.

Задача 2. Дрон теряет связь на расстоянии 500 м, хотя RSSI показывает хороший уровень сигнала. Какие шаги предпринять для диагностики?

Решение.

Проверьте антенну: убедитесь, что она правильно установлена и не повреждена.

Измерьте напряжение батареи: просадка напряжения может влиять на работу приёмника.

Проверьте пайку и контакты: окисление или плохой контакт могут вызывать сбои.

Смените частоту обновления: слишком высокая частота может перегружать канал.

Протестируйте другой приёмник: исключите неисправность текущего RX.

Проверьте настройки Failsafe: убедитесь, что дрон корректно реагирует на потерю сигнала.

Задача 3. Вам нужно настроить резервный канал управления для long-range дрона. Опишите схему и необходимые компоненты.

Решение. Используйте основной канал на ELRS 900 МГц и резервный на Crossfire. Установите два приёмника на дрон, подключите их к разным UART-портам полётника. В Betaflight настройте приоритет основного приёмника и автоматическое переключение на резервный при потере сигнала. Для пульта используйте два передатчика (или модуль с двумя радио) и настройте синхронизацию команд. Это обеспечит максимальную надёжность на больших дистанциях.

ЧАСТЬ II. BETAFLIGHT ИЗНУТРИ

Глава 8. Установка Betaflight: первый запуск Configurator, прошивка контроллера и чистый старт

Представьте: перед вами — «мозг» дрона, полётный контроллер, пока ещё пустой, как чистый лист. Он ждёт не просто прошивки — он ждёт вашей первой команды, вашего стиля полёта. Установка Betaflight — это не техническая рутина, а ритуал инициации пилота: именно здесь железо превращается в инструмент, который будет чувствовать каждый ваш наклон стика и отвечать мгновенной реакцией.

Betaflight Configurator — это мост между вами и микроконтроллером. Через него вы не просто загружаете код: вы задаёте характер дрона. И первый запуск — момент, когда всё должно быть сделано безупречно: от драйверов до выбора прошивки под конкретную плату. Ошибка на этом этапе может стоить не только времени, но и работоспособности контроллера. Поэтому чистый старт — это не про «быстро», а про «надёжно».

Подготовка к установке

Прежде чем подключать контроллер к компьютеру, важно убедиться в трёх вещах:

Драйверы. Платы на базе STM32 (F4, F7) чаще всего требуют драйвера виртуального COM-порта (STM VCP). Без него Configurator не увидит устройство. Для некоторых плат (например, на CP210x) драйверы уже встроены в ОС.

Кабель. Используйте кабель с поддержкой передачи данных. Многие кабели для зарядки передают только питание и не подходят для прошивки.

Питание. При прошивке контроллер должен питаться только от USB. Не подключайте аккумулятор — это может привести к нестабильности процесса.

Первый запуск Betaflight Configurator

Скачайте актуальную версию Betaflight Configurator с официального репозитория на GitHub. Это критически важно: сторонние сборки могут содержать ошибки или устаревшие

компоненты. После установки запустите программу и подключите полётный контроллер по USB.

В окне программы вы увидите кнопку **Connect**. Нажмите её — Configurator попытается установить соединение. Если устройство не определяется, проверьте:

- правильность выбора порта (COM-порт в Windows или /dev/tty в Linux/macOS);
- актуальность драйверов;
- исправность кабеля и порта.

Если всё в порядке, откроется интерфейс с информацией о плате, текущей прошивке и доступными вкладками.

Прошивка полётного контроллера

Перейдите на вкладку **Firmware Flasher**. Здесь есть два пути:

Онлайн-прошивка. Configurator сам подтягивает нужную версию из репозитория. Выберите цель (Target) — точное название вашей платы (например, MATEKF405, DYS F4, HGLRC FD422). Система предложит последнюю стабильную версию Betaflight.

Локальная прошивка. Если у вас есть заранее скачанный .hex-файл (например, для кастомной сборки или тестирования), выберите его вручную.

Перед прошивкой рекомендуется выполнить **Full Chip Erase** (полное стирание чипа), особенно если плата использовалась ранее. Это гарантирует, что старые настройки и данные не повлияют на новую прошивку. Однако для некоторых плат (особенно на STM32F4) эта опция может быть недоступна или не рекомендована — ориентируйтесь на подсказки в интерфейсе.

Нажмите **Flash Firmware** и дождитесь завершения процесса. Плата будет перезагружаться, мигать светодиодами — это нормально. Не отключайте питание и не выдергивайте кабель до окончания прошивки.

Чистый старт: сброс и базовая конфигурация

После успешной прошивки дрон находится в состоянии «чистого листа»: все настройки сброшены, полётные режимы не назначены, приёмник не настроен. Это идеальный момент для аккуратной базовой конфигурации.

На вкладке **Setup** вы увидите стартовый экран с подсказками. Здесь можно:

- выбрать ориентацию платы (Board Orientation);
- проверить работу датчиков (акселерометр, гироскоп);
- убедиться, что моторы не вращаются случайно.

Далее перейдите на вкладку **Configuration**. Здесь активируются ключевые функции:

Board and Sensor Alignment — выравнивание датчиков относительно корпуса дрона;

Receiver — настройка каналов управления;

Motors — проверка вращения моторов (только без пропеллеров!).

Важно: на этом этапе не стоит сразу настраивать PID-регуляторы или фильтры. Сначала нужно убедиться, что дрон корректно реагирует на команды и датчики работают стабильно.

Чистый старт — это фундамент. На нём строится весь дальнейший полёт: от первых зависаний в комнате до уверенных полётов на открытых площадках. И именно здесь закладывается доверие между пилотом и техникой: когда вы точно знаете, что настройки — ваши, а не чьи-то случайные.

10 вопросов с ответами

Вопрос 1. Зачем нужен драйвер STM VCP при прошивке полётного контроллера?

Ответ. Драйвер STM VCP позволяет ОС распознать плату как виртуальный COM-порт, через который Configurator обменивается данными с микроконтроллером. Без него соединение не установится.

Вопрос 2. Почему нельзя прошивать плату с подключённым аккумулятором?

Ответ. Питание от аккумулятора может вызвать скачки напряжения и нестабильность во время прошивки, что повышает риск «окирпичивания» платы. Прошивку выполняют только от USB.

Вопрос 3. В чём разница между онлайн- и локальной прошивкой в Configurator?

Ответ. Онлайн-прошивка автоматически загружает актуальную версию из репозитория по выбранной цели. Локальная — использует заранее скачанный .hex-файл, что удобно для тестирования или кастомных сборок.

Вопрос 4. Что делает опция Full Chip Erase и когда её стоит использовать?

Ответ. Full Chip Erase полностью стирает память микроконтроллера, удаляя старую прошивку и настройки. Её используют при первом старте или при переходе на другую цель, чтобы избежать конфликтов.

Вопрос 5. Как понять, что Configurator корректно определил плату?

Ответ. В верхней части окна вкладки Firmware Flasher отображается название цели (Target), версия прошивки и статус подключения. Если поле пустое или написано «No device», значит, плата не обнаружена.

Вопрос 6. Почему важно выбрать точное название цели (Target)?

Ответ. Каждая цель соответствует конкретной схеме платы: распиновке, датчикам, портам. Неверная цель приведёт к неправильной прошивке и неработоспособности устройства.

Вопрос 7. Что делать, если плата не появляется в списке портов?

Ответ. Проверьте драйверы, кабель и порт. Попробуйте другой USB-кабель, переустановите драйверы, проверьте, не блокирует ли устройство служба ModemManager (в Linux).

Вопрос 8. Зачем выполнять проверку датчиков на вкладке Setup?

Ответ. Это позволяет убедиться, что акселерометр и гироскоп работают корректно и правильно ориентированы относительно корпуса. Ошибки здесь приводят к нестабильному полёту.

Вопрос 9. Можно ли сразу после прошивки лететь на дроне?

Ответ. Нет. После прошивки требуется базовая настройка: проверка каналов, моторов, ориентации платы и включение безопасных функций. Полёт без этого опасен.

Вопрос 10. Что означает статус «DFU — STM32 BOOTLOADER» и зачем он нужен?

Ответ. Это режим загрузчика, в который плата переходит для приёма новой прошивки. В этом режиме микроконтроллер готов к записи кода, но не выполняет обычную логику Betaflight.

3 задачи с решением

Задача 1. Вы подключили полётный контроллер к ПК, запустили Configurator, но кнопка Connect неактивна, а поле Target пустое. Опишите пошаговый план диагностики.

Решение:

Проверьте кабель: он должен поддерживать передачу данных.

Убедитесь, что плата подключена только по USB (без аккумулятора).

Проверьте наличие драйверов (STM VCP или CP210x).

Откройте диспетчер устройств (Windows) или lsusb/dmesg (Linux) и проверьте, определяется ли плата.

Если плата видна, но Configurator её не видит, попробуйте другой порт или кабель.

При необходимости переустановите драйверы или используйте Zadig для замены драйвера на libusb.

Задача 2. Вам нужно прошить плату MATEKF722 на последнюю стабильную версию Betaflight. Опишите процесс в Configurator.

Решение:

Откройте вкладку Firmware Flasher.

В поле Target выберите MATEKF722.

Убедитесь, что выбрана опция Online Firmware.

При необходимости отметьте Full Chip Erase.

Нажмите Flash Firmware и дождитесь завершения.

После прошивки переподключитесь и проверьте версию на вкладке Info.

Задача 3. После прошивки моторы начали вращаться без команды. Что могло пойти не так и как это исправить?

Решение:

Отключите питание и снимите пропеллеры.

Проверьте, не активирован ли режим тестирования моторов на вкладке Motors.

Убедитесь, что приёмник не подаёт сигнал (аппаратура выключена).

На вкладке Configuration проверьте, не включена ли функция автоматического включения моторов.

При необходимости сбросьте конфигурацию до заводских настроек через CLI командой defaults и заново настройте базовые параметры.

ЧАСТЬ II. BETAFLIGHT ИЗНУТРИ

Глава 9. Вкладка Ports: UART, софтверный, VTX-таблицы — настройка коммуникаций

В мире FPV-дронов «коммуникации» — это не про разговоры, а про то, как компоненты понимают друг друга. Полётный контроллер (FC) — мозг системы, но без грамотной настройки портов он останется «немым»: видеопередатчик не включится, телеметрия не полетит, GPS не найдёт спутники. Именно вкладка **Ports** в Betaflight Configurator собирает все эти связи в единую управляемую сеть.

Что такое Ports и зачем они нужны

Порты (UART) — это физические последовательные интерфейсы на полётном контроллере, через которые FC обменивается данными с внешними устройствами: видеопередатчиками (VTX), приёмниками, GPS, телеметрией, LED-контроллерами и т. д. Каждый UART имеет два основных контакта: TX (передача) и RX (приём). Важно не перепутать: TX контроллера соединяется с RX устройства, и наоборот.

Софтверный (Soft Serial) — программная эмуляция UART на любых свободных пинах. Это «спасательный круг», когда аппаратных UART не хватает, но за удобство приходится платить: софтовый порт менее стабилен, чувствителен к нагрузке процессора и помехам. Его

используют для малонагруженных устройств: простых светодиодов, датчиков температуры, резервных каналов телеметрии.

VTX-таблицы: язык общения с видеопередатчиком

Современные видеопередатчики (VTX) умеют менять мощность и частоту прямо с пульта. Для этого в Betaflight используют **VTX-таблицу** — список частот и мощностей, который «объясняет» FC, какие команды понимает конкретный VTX. Без корректной таблицы команды с пульта либо не сработают, либо вызовут ошибку.

VTX-таблица задаётся в CLI или через вкладку Features (в новых версиях Betaflight). В неё входят:

- Список каналов (A, B, E, F, R и т. п.)

- Частоты для каждого канала (в МГц)

- Уровни мощности (PIT, 25 мВт, 200 мВт, 600 мВт и т. д.)

- Соответствие команд (band/channel/power) для конкретного протокола (IRC Tramp, SmartAudio, BST).

Разные VTX используют разные протоколы управления. Betaflight должен «говорить» на том же языке: IRC Tramp — самый популярный, SmartAudio — проще, но менее гибкий, BST (TBS) — для кроссфайра.

Настройка вкладки Ports: пошаговый алгоритм

Определите, какие устройства подключены к каким UART. Запишите: UART1 — приёмник, UART2 — VTX, UART3 — GPS.

Откройте вкладку Ports в Betaflight Configurator. В колонке «Feature» выберите нужную функцию для порта: Serial RX (для приёмника), VTX (для видеопередатчика), GPS и т. д.

Активируйте протокол. Например, для VTX выберите IRC Tramp или SmartAudio в настройках Features.

Настройте скорость (Baud Rate). Для большинства современных устройств достаточно автоопределения, но иногда требуется ручная установка (например, 115200 для GPS).

Проверьте работоспособность. Вкладка Receiver покажет движение стиков, OSD — данные телеметрии, видео — переключение каналов с пульта.

Важно: не включайте одну и ту же функцию на нескольких портах одновременно — это вызовет конфликт и ошибки.

Типичные ошибки и как их избежать

Перепутаны TX/RX. Дрон не видит устройство, нет телеметрии или видео. Решение: проверьте схему подключения.

Конфликт функций. Два устройства используют один и тот же протокол на разных портах. Решение: оставьте функцию только на одном порту.

Неверная VTX-таблица. Команды с пульта не работают, VTX выдаёт ошибку. Решение: загрузите правильную таблицу для вашего VTX.

Софтсериял на нагруженном пине. Возможны сбои при высокой нагрузке FC. Решение: используйте аппаратные UART для критичных устройств (приёмник, VTX).

Практический пример: настройка VTX на UART2

Допустим, у вас видеопередатчик с протоколом IRC Tramp на UART2. Порядок действий:

В Ports выберите для UART2 функцию VTX.

В Features активируйте IRC Tramp.

Загрузите VTX-таблицу (через CLI или готовый JSON).

Проверьте переключение каналов и мощности с пульта.

Убедитесь, что в OSD отображаются текущие параметры VTX.

Такая настройка даёт пилоту полный контроль над видеоканалом прямо в полёте — без необходимости лезть в дрон и переключать переключики.

10 вопросов с ответами

Вопрос: Что такое UART в контексте полётного контроллера?

Ответ: UART — это последовательный интерфейс для обмена данными между полётным контроллером и внешними устройствами (VTX, приёмник, GPS и др.).

Вопрос: Зачем нужен софтсериал, если есть аппаратные UART?

Ответ: Софтсериал позволяет использовать любые свободные пины как UART, когда аппаратных портов не хватает. Это удобно, но менее надёжно.

Вопрос: В чём разница между TX и RX на UART?

Ответ: TX (Transmit) — передача данных, RX (Receive) — приём. TX одного устройства подключается к RX другого.

Вопрос: Что такое VTX-таблица и зачем она нужна?

Ответ: VTX-таблица — это список частот, каналов и мощностей, который позволяет Betaflight корректно управлять видеопередатчиком с пульта.

Вопрос: Какие протоколы управления VTX поддерживает Betaflight?

Ответ: Betaflight поддерживает IRC Tramp, SmartAudio и BST (TBS), выбор зависит от модели VTX.

Вопрос: Можно ли использовать один UART для двух устройств?

Ответ: Нет, это вызовет конфликт. Каждый критический модуль должен иметь свой отдельный порт.

Вопрос: Где задаётся VTX-таблица в Betaflight?

Ответ: В CLI через команду `vtxtable` или в интерфейсе Configurator (в зависимости от версии прошивки).

Вопрос: Почему софтсериал может работать нестабильно?

Ответ: Потому что он эмулируется программно и зависит от загрузки процессора, помех и качества пайки.

Вопрос: Как проверить, что VTX правильно настроен?

Ответ: Переключите канал и мощность с пульта и убедитесь, что изменения отображаются в OSD и реально применяются VTX.

Вопрос: Что делать, если команды VTX с пульта не срабатывают?

Ответ: Проверьте правильность VTX-таблицы, активацию протокола в Features, подключение TX/RX и отсутствие конфликтов портов.

3 задачи с решением

Задача 1

Условие: У вас есть приёмник (SBUS) на UART1, VTX (IRC Tramp) на UART2 и GPS на UART3. Напишите, какие функции нужно активировать в вкладке Ports и что проверить после настройки.

Решение:

Для UART1 выберите функцию Serial RX.

Для UART2 выберите VTX и в Features активируйте IRC Tramp.

Для UART3 выберите GPS.

После настройки проверьте: движение стиков в Receiver, переключение каналов VTX с пульта, появление спутников в OSD.

Задача 2

Условие: Вы подключили VTX к UART4, но команды с пульта не работают. Перечислите 3 возможные причины и шаги диагностики.

Решение:

Не активирована функция VTX в Ports для UART4 — проверьте вкладку Ports.

Не включён нужный протокол (IRC Tramp/SmartAudio) в Features — включите и сохраните.

Не загружена правильная VTX-таблица — загрузите таблицу под ваш VTX через CLI или Configurator.

После каждого шага проверяйте реакцию VTX.

Задача 3

Условие: Аппаратных UART не хватает: нужно подключить приёмник, VTX, GPS и LED-контроллер. Как оптимально распределить устройства и где использовать софтверный?

Решение:

Приёмник — аппаратный UART (критичен для безопасности).

VTX — аппаратный UART (частое управление мощностью/каналами).

GPS — аппаратный UART (стабильность данных).

LED-контроллер — софтверный на свободных пинах (низкая нагрузка, допустима нестабильность).

Такой порядок сохраняет надёжность основных систем и использует софтверный там, где сбои менее критичны.

ЧАСТЬ II. BETAFLIGHT ИЗНУТРИ

Глава 10. Приёмники и привязка: BIND, Lua-скрипты, отказоустойчивость канала управления

Введение: почему привязка и отказоустойчивость — это не «мелочи»

Когда пилот поднимает дрон в воздух, он доверяет системе самое дорогое — аппарат, оборудование и безопасность окружающих. Приёмник — это «уши» коптера: именно через него приходят команды от пульта. Если связь теряется, а FailSafe не настроен, дрон может улететь в неизвестном направлении или резко упасть.

В этой главе мы разберём, как правильно выполнить привязку (BIND) приёмника к передатчику, как использовать Lua-скрипты для контроля и диагностики канала, и как выстроить отказоустойчивую систему управления, чтобы даже при потере сигнала дрон действовал предсказуемо.

Привязка (BIND): суть и варианты

BIND — это процесс установления уникальной пары «передатчик — приёмник», чтобы дрон принимал команды только от вашего пульта. В современных системах (ExpressLRS, Crossfire, FrSky) привязка реализуется по-разному, но логика одна: приёмник должен «узнать» идентификатор передатчика.

Основные способы привязки

Кнопка Bind на приёмнике. Самый простой вариант: подаём питание на приёмник, удерживаем кнопку Bind, на пульте запускаем BIND-режим. Приёмник мигает, затем переходит в рабочий режим.

BIND-фраза (Binding Phrase). Применяется в ExpressLRS: фраза хешируется в уникальный UID (6 байт), который вводится в Betaflight CLI командой `set expresslrs_uid = ...` и сохраняется. Это удобно, если нет кнопки Bind.

Автоматический Bind по UID. В некоторых прошивках приёмник автоматически привязывается к передатчику с нужным UID при первом включении.

Важно: версии прошивок приёмника и передатчика должны быть совместимы. Несовпадение версий — частая причина «невидимости» приёмника.

Lua-скрипты: контроль канала из пульта

Lua-скрипты на пульте (RadioMaster, Jumper и др.) позволяют выводить на экран телеметрию, менять режимы и даже диагностировать качество канала в реальном времени.

Для ExpressLRS стандартный скрипт даёт:

текущую мощность передатчика;

пакетную скорость (F1000, F500 и т. п.);

RSSI и LQ (уровень сигнала и качество пакетов);

статус Wi-Fi режима приёмника (если поддерживается).

Практический смысл: если LQ падает ниже 80–90%, это сигнал снизить скорость пакетов или увеличить мощность, либо скорректировать полётную зону.

Отказоустойчивость и FailSafe: что дрон делает, когда «тишина»

FailSafe — это поведение дрона при потере связи. В Betaflight есть несколько стратегий:

Hold: дрон удерживает текущие значения стиков. Подходит для спокойных полётов, но опасен при резкой потере связи — может улететь по инерции.

Drop: моторы отключаются, дрон падает. Крайне рискованно, используется редко.

Land: дрон начинает плавное снижение. Наиболее безопасный вариант для большинства сценариев.

RTH (Return to Home): дрон возвращается на точку взлёта. Требуется GPS и правильной настройки.

Настроить FailSafe можно во вкладке *Receiver* в Betaflight Configurator. Также важно задать минимальное значение канала AUX, при котором дрон будет считать связь потерянной.

Практические советы и частые ошибки

Не путайте режимы Bind и Wi-Fi. В ExpressLRS приёмник может иметь два режима: Bind и Wi-Fi. Если вы случайно включили Wi-Fi, привязка не работает.

Проверяйте UART и протокол. Если приёмник подключён к UART, в вкладке Ports нужно включить Serial RX и выбрать правильный протокол (CRSF для Crossfire/ExpressLRS, SBUS и т. д.).

Тестируйте FailSafe на земле. Перед первым полётом обязательно проверьте, как дрон реагирует на потерю сигнала: отключите пульт и посмотрите, срабатывает ли FailSafe корректно.

10 вопросов с ответами

Что такое BIND и зачем он нужен?

Ответ: BIND — это процедура установления уникальной связи между приёмником и передатчиком. Он нужен, чтобы дрон реагировал только на ваш пульт и не принимал чужие команды.

Какие способы привязки существуют для ExpressLRS?

Ответ: Кнопка Bind на приёмнике, BIND-фраза (преобразуется в UID), автоматический Bind по UID.

Как ввести UID в Betaflight?

Ответ: Через CLI: `set expresslrs_uid = [6 байт в шестнадцатеричном виде]`, затем `save`.
Зачем нужны Lua-скрипты на пульте?

Ответ: Они отображают телеметрию (RSSI, LQ, мощность, скорость пакетов), позволяют менять настройки и диагностировать канал без подключения к ПК.

Что означает падение LQ до 70%?

Ответ: Это признак ухудшения качества связи: возможны потери пакетов. Рекомендуется снизить скорость передачи (например, с F1000 на F500) или увеличить мощность.

Какой FailSafe лучше выбрать для новичка?

Ответ: Land (плавное снижение) — самый безопасный вариант, если нет GPS для RTH.
Можно ли настроить FailSafe отдельно для разных режимов полёта?

Ответ: Да, через AUX-каналы и условия в Betaflight: например, в режиме Acro — Hold, в режиме Angle — Land.

Почему после привязки дрон не видит каналы?

Ответ: Частые причины: несовпадение прошивок, неверный протокол в Ports, отключён Serial RX, перепутаны TX/RX пины UART.

Как проверить, что FailSafe работает?

Ответ: На земле, с включёнными моторами (или без, если не хотите запускать), отключите пульт и наблюдайте за реакцией дрона: должен сработать выбранный режим FailSafe.

Что делать, если привязка не срабатывает?

Ответ: Проверить версии прошивок, убедиться, что приёмник в режиме Bind, проверить питание и подключение, попробовать другой способ привязки (кнопка или UID).

3 задачи с решением

Задача 1

Условие: У вас приёмник ExpressLRS с прошивкой 3.0.0, передатчик — 2.5.3. При попытке привязки приёмник не реагирует. В чём проблема и как её решить?

Решение:

Проблема — несовместимость версий прошивок. ExpressLRS требует совпадения версий TX и RX.

Шаги:

Обновите прошивку передатчика до 3.0.0 (или приёмника до 2.5.3, если это возможно). Проверьте, что выбран правильный Regulatory Domain (ISM 2.4GHz или 868/915MHz). Повторите привязку любым удобным способом (кнопка Bind или UID). Проверьте в Lua-скрипте на пульте, что отображается корректный UID и статус связи.

Задача 2

Условие: Вы хотите, чтобы при потере связи дрон плавно снижался, но в Betaflight в FailSafe выбран Hold. Как изменить поведение и какие параметры проверить?

Решение:

Откройте вкладку *Receiver* в Betaflight Configurator.

В разделе FailSafe выберите режим **Land**.

Убедитесь, что в настройках моторов включена функция «Motor stop» при потере сигнала (если требуется).

Задайте минимальное значение AUX-канала, при котором система считает связь потерянной (обычно 988–1000 мкс).

Сохраните настройки и протестируйте на земле: отключите пульт, дрон должен начать снижение.

Задача 3

Условие: На пульте установлен Lua-скрипт ExpressLRS, но он не показывает LQ и RSSI. Что проверить и как исправить?

Решение:

Убедитесь, что приёмник поддерживает телеметрию и она включена в прошивке (в ExpressLRS это параметр «Telemetry Ratio»).

Проверьте подключение приёмника к полётному контроллеру: должен быть задействован UART с включённым Serial RX и протоколом CRSF.

В Betaflight во вкладке Ports убедитесь, что порт настроен корректно и не занят другими устройствами.

Перезагрузите пульт и приёмник, чтобы скрипт заново «увидел» телеметрию.

Если проблема сохраняется, проверьте версию Lua-скрипта: она должна соответствовать версии прошивки ExpressLRS.

ЧАСТЬ II. BETAFLIGHT ИЗНУТРИ

Глава 11. Датчики: гироскоп, акселерометр, барометр, компас — калибровка и фильтрация

Датчики — это «органы чувств» дрона: без них полётный контроллер не поймёт, где верх, куда дрон поворачивает и на какой высоте он находится. В Betaflight именно данные с датчиков становятся основой для расчёта управляющих воздействий на моторы. От качества этих данных напрямую зависят стабильность полёта, отзывчивость стиков и безопасность дрона.

Гироскоп: чувство вращения

Гироскоп измеряет угловую скорость — насколько быстро дрон вращается вокруг каждой из осей (крен, тангаж, рыскание). В Betaflight гироскоп — главный источник данных для стабилизации в режиме Acro и для сглаживания движений в Angle/Horizon.

Современные полётные контроллеры используют микросхемы типа BMI270, MPU6000, ICM42688. Они передают данные по интерфейсам SPI или I²C. SPI даёт более высокую частоту опроса и меньшую задержку, поэтому в качественных FC гироскоп подключён именно через SPI.

Почему важна частота и фильтрация. Чем выше частота опроса гироскопа, тем раньше контроллер «увидит» отклонение и успеет скорректировать его. Но вместе с полезными данными приходят и шумы — вибрации от моторов, удары, турбулентность. Если не фильтровать шум, PID-регулятор начнёт «дёргать» моторы, и дрон будет вибрировать или даже терять устойчивость.

В Betaflight фильтрация гироскопа настраивается через вкладки Filters и PID Tuning. Здесь можно включать и настраивать Lowpass-фильтры, Biquad, а также использовать проактивные фильтры (RPM filtering), которые подавляют гармоники от оборотов моторов, если есть телеметрия ESC.

Акселерометр: чувство гравитации

Акселерометр измеряет ускорение, но в контексте стабилизации его главная задача — определять направление силы тяжести. Это позволяет Betaflight понимать, где «низ», и удерживать горизонт в режимах Angle и Horizon.

Калибровка акселерометра — обязательная процедура при первом запуске и после жёсткой посадки. В Betaflight Configurator она запускается на вкладке Setup кнопкой Calibrate Accelerometer. Дрон нужно поставить на ровную горизонтальную поверхность и не трогать во время процедуры.

Важно: акселерометр не используется в режиме Асго — там пилот полностью контролирует ориентацию. Но если в настройках включён режим Horizon, акселерометр будет «подтягивать» дрон к горизонту даже при отпускании стиков.

Барометр: измерение высоты

Барометр измеряет атмосферное давление и по его изменению рассчитывает высоту. Это полезно для удержания высоты в простых режимах и для логирования данных. Однако барометр чувствителен к перепадам температуры и потокам воздуха, поэтому в чистом виде для стабилизации высоты он почти не используется.

Чаще всего данные барометра применяются как вспомогательный источник в комбинированных оценках положения. В Betaflight барометр включается через вкладку Configuration (Feature → Baro). Его показания можно проверить на вкладке Sensors.

Компас (магнитометр): определение курса

Компас нужен для определения направления носа дрона относительно магнитного севера. В Betaflight он особенно важен при использовании GPS-модуля и функций типа GPS Rescue или Return to Home.

Компас легко подвержен помехам: металлические винты, силовые провода, аккумуляторы создают локальные магнитные поля, искажающие показания. Поэтому калибровку компаса всегда проводят в чистом месте, вдали от металлических предметов и ЛЭП. Процедура запускается на вкладке Setup: Calibrate Magnetometer. Во время калибровки дрон плавно вращает по всем трём осям.

После калибровки важно проверить, нет ли сильного дрейфа курса. Если дрон в режиме удержания позиции начинает «кружиться» (эффект «toilet bowling»), это признак некорректной калибровки или сильных магнитных наводок.

Калибровка: порядок и частые ошибки

Акселерометр — только на ровной поверхности, без вибраций и касаний.

Компас — на открытом месте, без металла рядом, с плавными вращениями по всем осям.

Гироскоп — не требует ручной калибровки; его точность зависит от стабильности питания и качества пайки.

Барометр — обычно не калибруется вручную; достаточно проверить показания на вкладке Sensors и убедиться, что они меняются при подъёме/опускании дрона.

Частые ошибки: калибровка рядом с автомобилем или металлическими конструкциями, вращение дрона слишком быстро или рывками, калибровка на неровной поверхности. Все они приводят к неточным данным и нестабильному полёту.

Фильтрация и настройка в Betaflight

На вкладке Filters в Betaflight Configurator можно тонко настроить обработку данных с датчиков:

Lowpass-фильтры — убирают высокочастотный шум.

RPM filtering — подавляет вибрации, связанные с оборотами моторов.

Notch-фильтры — вырезают узкие диапазоны частот, где сосредоточены основные вибрации.

Настройки фильтров влияют на задержку сигнала: чем сильнее фильтрация, тем больше задержка. Задача пилота и инженера — найти баланс между чистотой сигнала и отзывчивостью управления.

На вкладке PID Tuning можно увидеть графики сигналов гироскопа и оценить, насколько эффективно работают фильтры. Для точной настройки полезно использовать логи Blackbox: они позволяют анализировать поведение датчиков в реальных полётах и корректировать фильтры под конкретный дрон.

10 вопросов с ответами

Вопрос: зачем в Betaflight нужен гироскоп?

Ответ: гироскоп измеряет угловую скорость вращения дрона вокруг осей и служит основным источником данных для стабилизации полёта и расчёта управляющих воздействий.

Вопрос: в каких режимах полёта используется акселерометр?

Ответ: акселерометр используется в режимах Angle и Horizon для определения направления силы тяжести и удержания горизонта; в режиме Acro он не влияет на стабилизацию.

Вопрос: как правильно откалибровать акселерометр в Betaflight?

Ответ: дрон ставят на ровную горизонтальную поверхность, подключают к Betaflight Configurator, переходят на вкладку Setup и нажимают Calibrate Accelerometer, не трогая аппарат во время процедуры.

Вопрос: почему калибровку компаса нужно проводить вдали от металла?

Ответ: металлические предметы и силовые кабели создают локальные магнитные поля, которые искажают показания магнитометра и приводят к ошибкам курса и эффекту «toilet bowling».

Вопрос: что такое RPM filtering и зачем он нужен?

Ответ: RPM filtering — это фильтрация вибраций, связанных с оборотами моторов; она снижает шум в сигнале гироскопа и улучшает стабильность полёта.

Вопрос: можно ли использовать барометр для точной стабилизации высоты?

Ответ: нет, барометр чувствителен к температуре и потокам воздуха; его используют как вспомогательный датчик, а не как основной источник данных для удержания высоты.

Вопрос: где в Betaflight настраиваются фильтры для гироскопа?

Ответ: фильтры настраиваются на вкладке Filters в Betaflight Configurator; здесь можно включить Lowpass, Notch и RPM filtering.

Вопрос: что делать, если после калибровки компаса дрон начинает кружиться на месте?

Ответ: это признак некорректной калибровки или магнитных наводок; нужно повторить калибровку в чистом месте и проверить расположение GPS/компыаса относительно силовых проводов.

Вопрос: влияет ли тип интерфейса (SPI/I²C) на качество работы гироскопа?

Ответ: да, SPI обеспечивает более высокую частоту опроса и меньшую задержку по сравнению с I²C, что улучшает качество стабилизации.

Вопрос: как оценить эффективность фильтров в Betaflight?

Ответ: эффективность фильтров оценивают по графикам на вкладке PID Tuning и по логам Blackbox, анализируя уровень шума и задержку сигнала в реальных полётах.

3 задачи с решением

Задача 1.

Вы собрали новый дрон и впервые подключили его к Betaflight Configurator. Какие шаги калибровки датчиков нужно выполнить перед первым полётом и в каком порядке?

Решение:

Поставьте дрон на ровную поверхность.

На вкладке Setup выполните калибровку акселерометра (Calibrate Accelerometer).

Перенесите дрон в чистое место вдали от металла и ЛЭП.

На вкладке Setup запустите калибровку компаса (Calibrate Magnetometer) и плавно поверните дрон по всем осям.

Проверьте показания датчиков на вкладке Sensors: значения должны быть стабильными и логичными.

При необходимости настройте фильтры на вкладке Filters и проверьте графики на вкладке PID Tuning.

Задача 2.

Во время тестового полёта в режиме Horizon дрон заметно «плавает» по высоте и медленно отклоняется от курса. Какие датчики могут быть причиной и что проверить?

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.