

Blackbox

Методичка

20. Blackbox: запись, выгрузка и анализ

Тема 4 нового списка. Результат: открытый пригодный лог и вывод, привязанный к полям и временному участку. Учебный маршрут можно полностью пройти по существующим файлам без нового запуска моторов.

Маршрут А. Уже имеющийся лог

1. **Blackbox Explorer** → **Open log file** → .bbl / поддерживаемый .bfl. Если файл содержит несколько записей — выбор конкретного лога в списке.
2. Информация о логе → версия firmware, плата, частота записи, debug и доступные поля. Это настройки **на момент записи**.
3. Область графиков / Graph Setup → сначала **Setpoint + Gyro** одной оси. Масштаб времени → участок команды или наблюдаемого сбоя.
4. Затем **P, I, D, F** той же оси и **Motor** → сопоставление причины, реакции регулятора и ограничений выхода.
5. **Spectrum Analyzer** → спектр выбранного поля на выделенном участке. Название поля, частота дискретизации и масштаб должны оставаться известными.
6. Вывод → лог / время / ось / наблюдение / предполагаемая причина / чем подтвердить. Наблюдение отделяется от гипотезы.

Локальный пример: school/Uchebny material/betaflight/blackbox/04.06 v3/btfl_001.bbl. В заголовке подтверждены **Betaflight 4.5.3**, IFLIGHT_BLITZ_F435, Setpoint, Gyro, P/I/D/F, Motor, eRPM и gyroUnfilt. Это **пример формата и полей**, его PID не являются настройками пользовательского аппарата.

Какие линии что означают

Поле / название	Смысл
Setpoint	Запрошенная угловая скорость после обработки команды
Gyro / gyroADC	Измеренное вращение на соответствующем этапе обработки
gyroUnfilt / debug GYRO_SCALED	Данные до нужного этапа фильтрации; точное содержание зависит от версии и debug
axisP / axisI / axisD / axisF	Вклад каждого члена регулятора
rcCommand	Команда RC; не всегда то же, что исходные микросекунды канала
Motor	Команда регулятору; не измеренные обороты
eRPM	Электрические обороты; перевод в механические зависит от числа полюсов мотора
debug[0...]	Смысл задаётся записанным debug_mode

У gyroUnfilt слово «unfiltered» не гарантирует отсутствие фильтра внутри самого датчика. Сравнение спектров разных этапов без указания поля приводит к ошибкам.

Маршрут Б. Настройка записи Betaflight 4.5

1. **Blackbox** → **Logging device** → **Onboard Flash** либо **SD Card** по фактической плате. Отсутствие накопителя не исправляется сменой названия устройства в списке.
2. Существующие записи → выгрузка по маршруту ниже. **Erase flash** удаляет накопленные логи и используется только после сохранения нужных.
3. **Logging rate** → для фильтров учебный ориентир **2 kHz**; для обычного просмотра допустима меньшая частота с соответствующим ограничением анализа. Частота записи не может превышать фактические возможности PID loop/накопителя.
4. **Debug mode** → **GYRO_SCALED** для сравнения шума либо **D_MIN** для Dynamic Damping. Одновременно это разные задачи: нужный debug выбирается **до** записи.
5. **Save and Reboot** → повторное чтение устройства, частоты и debug. Режим обычной записи связан с ARM/настроенным режимом Blackbox; USB-подключение само по себе не создаёт полётный лог.

В экзаменационном маршруте дальше используется готовый учебный лог. Его анализ не выдаётся за лётную проверку новых настроек.

Маршрут В. Выгрузка

Onboard Flash: Blackbox → Save flash to file → завершённый файл → открытие в Explorer и наличие записей. Только после этого возможен Erase flash, если нужно освободить память.

SD Card: завершённая запись → отключённое от записи устройство → чтение файлов карты штатным способом платы. При доступном Activate Mass Storage Device Mode используется этот режим; при отсутствии — чтение снятой карты. Искомые файлы Blackbox, а не обычный diff.

Внешний serial logger: запись находится на его накопителе; Save flash to file полётника её не скачивает. Этот вариант требует собственного регистратора и настройки UART, поэтому не выбирается вместо отсутствующего onboard flash.

Практика чтения сигнала

Исключение SpeedyBee F405 V3: SD-карта и аналоговый OSD используют SPI2. Совместная работа может давать замерший OSD и логи с пропусками. Для воспроизводимой учебной записи на этой плате аналоговый OSD отделяется от SD-логирования; для аналогового OSD SD-логирование отключается. Это не относится автоматически к цифровому DisplayPort. Подробности и отдельное ограничение DShot, [основание #12583](#).

Наблюдение	Первый разбор	Чего пока нельзя утверждать
Gyro отстаёт от Setpoint	Начало команды, FF, задержка фильтров, предел Motor	Что обязательно нужен рост P
Выброс после остановки команды	Setpoint сам остановился или подпрыгнул? Затем P:D / FF	Что любой bounceback вызван I
Узкий пик перемещается с eRPM	Моторные гармоники и RPM filter	Какой конкретно мотор неисправен
Пик почти постоянной частоты	Резонанс рамы/узла, несколько режимов	Что это доказанный механический дефект
Широкий шум D-term	Шум гуру и фильтры D	Что повышение D исправит картину
Motor упёрся в границу	Насыщение выхода и доступный запас управления	Что ошибка слежения решается коэффициентом
Разрывы/пустоты данных	Ошибки записи, частота, накопитель	Что провал графика был реальным движением

Спектр и частота записи

FFT показывает распределение частот **в выбранном участке**. Частота по горизонтали и амплитуда/PSD по вертикали — не время и не обороты сами по себе. Для 2 kHz частота Найквиста — 1 kHz; выше неё достоверное восстановление невозможно. Наложение частот может дать ложный низкочастотный пик.

Два лог сравниваются на одинаковых осях, одинаковых единицах, близких условиях и с известными фильтрами. Уменьшение масштаба графика или усиление визуального smoothing не означает улучшение аппарата.

Если лог не открывается или пустой

1. Размер и тип файла → файл действительно Blackbox, а не переименованный CLI-текст.
2. Список внутренних записей → другая завершённая запись из того же файла.
3. Версия Explorer → поддержка версии firmware из заголовка.
4. Неполная выгрузка → повторное чтение исходного накопителя, без его очистки.
5. Нет нужных debug-полей → анализ доступных данных либо новый лог с нужным debug в отдельной практической работе; задним числом поля не появляются.

Короткие команды Betaflight 4.5

```
version  
get blackbox  
get debug_mode  
get pid_process_denom
```

Источник курса: PDF Filter Tuning, с. 3–14; PID Tuning, с. 24–27, 47–55; локальные BBL.

Первичные справочники: [Blackbox Flight Data Recorder](#), [Blackbox Explorer](#), [Debug Modes](#).

Проверены документы и заголовок учебного файла; этот текст не является результатом полного анализа его полёта.