

# Барометр (высотомер) в Betaflight

Барометры измеряют атмосферное давление для определения высоты. Они обладают высокой чувствительностью, реагируют на дыхание и очень чувствительны к температуре. Как правило, они оснащены точными датчиками температуры для компенсационных расчетов.

Betaflight использует данные барометра для определения высоты аппарата относительно точки взлета и помощи в контроле высоты при функции GPS Rescue.

В большинстве случаев Betaflight должен автоматически обнаруживать барометр.

Барометры гораздо полезнее для измерения относительных изменений высоты, чем для измерения абсолютной высоты. Современные чипы барометров, такие как Infineon DPS368, могут обнаруживать очень малые изменения высоты (менее 10 см) с хорошим подавлением шума и обновлять значения с частотой 40 Герц.

Чип DPS310 значительно лучше старого BMP280, а DPS368 еще лучше. Клоны как DPS310, так и BMP280 широко распространены; они менее надежны или имеют худшую температурную компенсацию по сравнению с оригиналами.

Betaflight обнуляет данные барометра сразу после включения питания, поэтому показания высоты барометра становятся относительными к точке включения. При взведении двигателей (арме) значение нуля может быть скорректировано повторно.

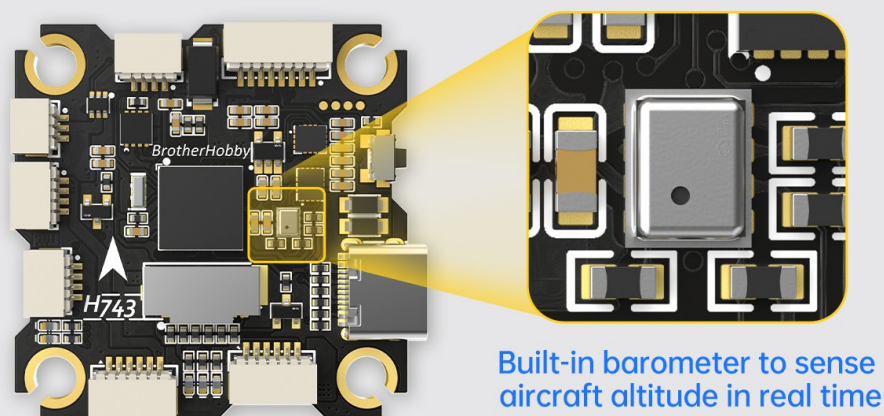
Барометры, подверженные воздействию турбулентного воздуха (например, потоку от пропеллеров), будут выдавать очень зашумленные значения высоты. **Обычная рекомендация — накрывать барометр мягкой пеной для уменьшения этой проблемы.**

При активации двигателей и нахождении коптера на земле положительное давление между пропеллерами и землей может интерпретироваться барометром как отрицательная высота. Это разрешается при взлете.

## Примечание

**Не наносите защитное покрытие на чипы барометров! Это может закрыть порт, через который они измеряют давление воздуха, вызывая неверные показания**

высоты, которые сильно дрейфуют при изменении температуры.



## Давление в работе с БПЛА

**Высотомер:** бародатчик → давление → высота. От точности калибровки зависит удержание высоты и корректные RTH-высоты.

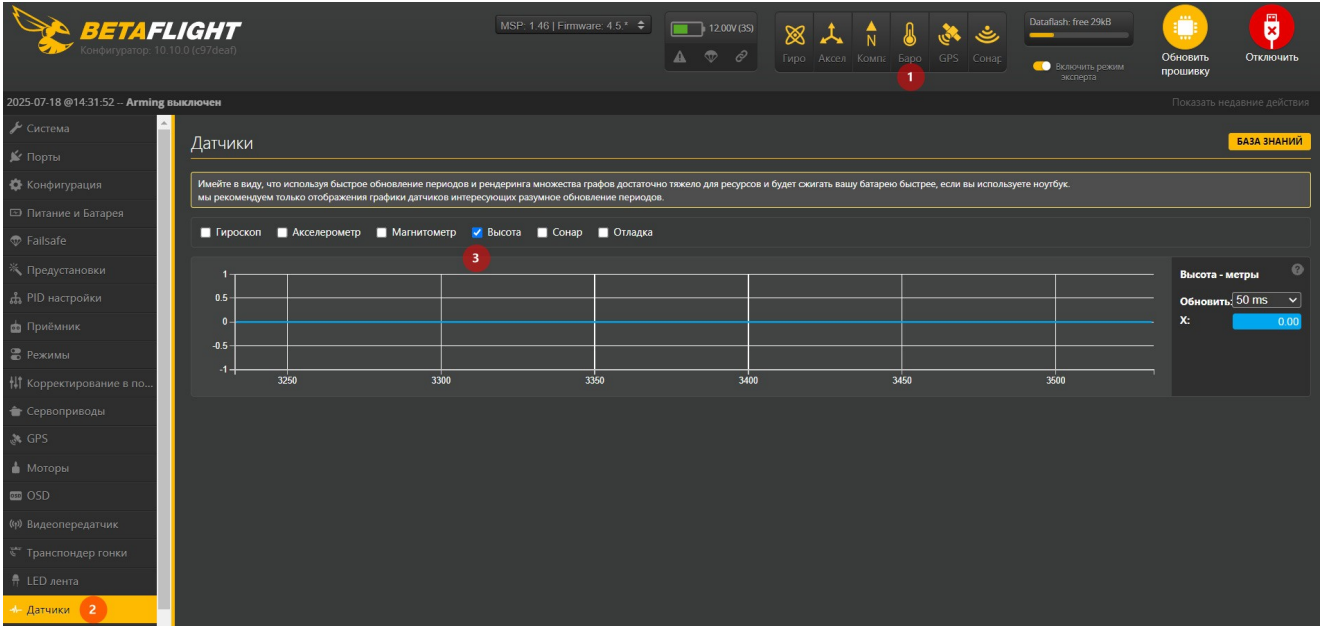
**Трубка Пито:** разность полного и статического давления даёт скорость.

**Метео:** давление в брифинге — индикатор погоды и источник QNH.

## Подтверждение корректной работы барометра

1. Сначала убедитесь, что барометр включен на странице Конфигурации (Configuration) в Конфигураторе (Configurator).
2. Значок барометра сверху должен загореться. Это означает, что прошивка включает поддержку барометра и был включен подходящий драйвер.
3. Большинство барометров включаются от USB, но некоторым требуется питание от литий-полимерного аккумулятора; если значок не загорается, снимите пропеллеры и проверьте, что происходит при подключении аккумулятора к разъему LiPo.
4. Если значок барометра горит, перейдите на вкладку Датчики (Sensors) и выберите Барометр / Высота (Barometer) сверху. Вы должны увидеть показания высоты с барометра. Поднятие коптера или полетного контроллера примерно на 1 метр вверх и вниз должно показывать соответствующее

изменение показаний высоты примерно на 1 метр. Наличие некоторого шума и задержки — это нормально.



## Расширенная проверка

Чёрный ящик

Конфигурация Blackbox

Бортовой флэш

Устройство для записи в Blackbox

1/4 (1kHz)

Частота записи в Blackbox

BARO

Режим отладки черного ящика

All selected

Data included

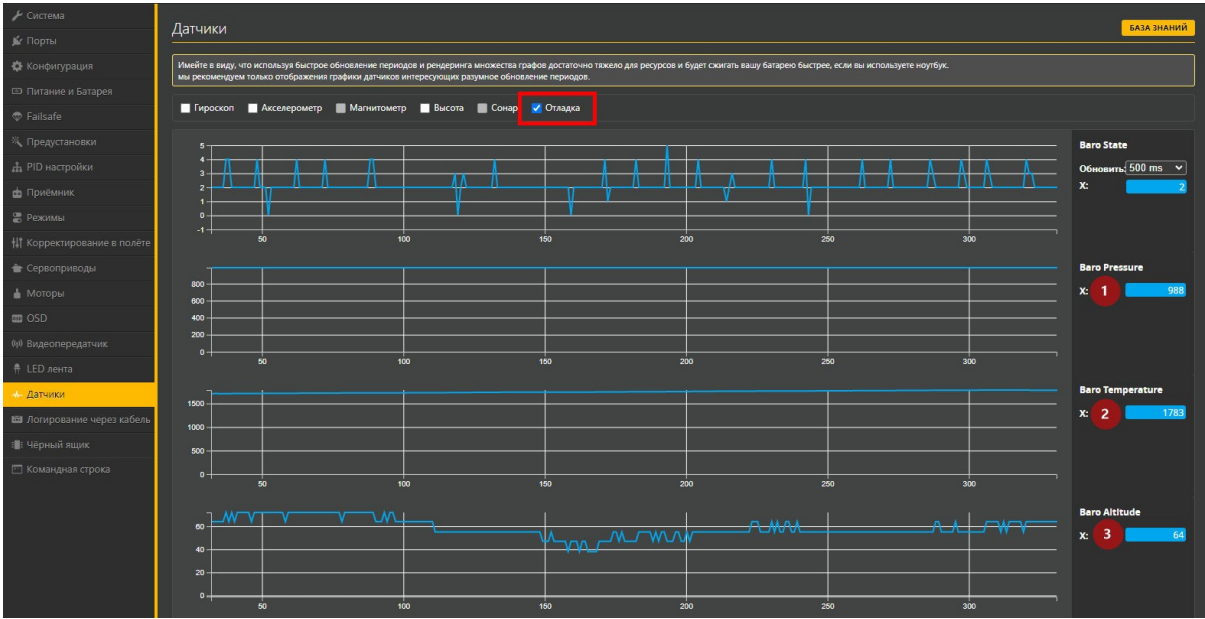
Сохранить и Перезагрузить

Режим отладки Baro [ debug\_mode = BARO ] возвращает:

| Debug | Данные                             |
|-------|------------------------------------|
| 0     | Состояние (во время инициализации) |

|   |                                                           |
|---|-----------------------------------------------------------|
| 1 | Давление в гектопаскалях (hPa), абсолютное                |
| 2 | Температура, сообщаемая барометром, градусы Цельсия × 100 |
| 3 | Оценка высоты только по барометру, в сантиметрах          |

Эти значения можно записывать в лог или отображать на графиках во вкладке Датчики (Sensors) Конфигуратора.



Проверьте точность показаний температуры: значение 1783 означает 17.83 градусов Цельсия. Если оно сильно отличается от реальной температуры, чип, вероятно, является клоном DPS310, и его температурная компенсация может быть плохой.

## Барометр против GPS для оценки высоты

И барометр, и GPS-модуль сообщают данные о высоте.

Барометры реагируют быстрее, чем GPS-модули, но могут быть более зашумленными. С другой стороны, если у GPS нет хорошего индикатора **hDOP** (горизонтальное размытие точности), оценка высоты по GPS может меняться на несколько метров в течение полета. Современные чипы барометров, например, DPS368, как правило, быстрее и точнее большинства GPS-модулей.

Метод **DEFAULT** для **altitude\_source** "смешивает" оба источника вместе или, если доступен только один источник, использует то, что есть. Пользователь может принудительно выбрать **BARO\_ONLY** или **GPS\_ONLY**. Это позволяет решить, какой источник обеспечивает лучший контроль высоты при функции GPS Rescue.

## Совет

Если инициировать GPS Rescue с высотой возврата, скажем, 10 метров над ровным полем, и наблюдать возвратный полет в прямой видимости (Line of Sight), стабильность контроля высоты и плавность снижения легко оценить визуально. Протестируйте с **BARO\_ONLY** и **GPS\_ONLY**. Если оба работают нормально по отдельности, протестируйте метод **DEFAULT**. Обычно **DEFAULT** дает наилучший результат.

Когда **altitude\_source = DEFAULT**, пользователь может регулировать относительное влияние барометра и GPS на итоговое значение высоты.

Когда доступен GPS-модуль, Betaflight получает значение **hDOP** (горизонтальное размытие точности) от GPS. Оно оценивает точность оценки высоты по GPS. Мы используем **hDOP** для назначения внутреннего значения **gpsTrust**. Значение по умолчанию — 0.3, что означает: если барометр доступен, GPS учитывается только на 30% в показании высоты. Однако, когда значение **hDOP** указывает на точные GPS-показания, значение **gpsTrust** может достигать максимума 0.9.

Настройка **altitude\_prefer\_baro** в интерфейсе командной строки дополнительно изменяет значение **gpsTrust**, когда есть большая разница между двумя показаниями. При **altitude\_prefer\_baro = 100** (по умолчанию) доверие к GPS не затрагивается, если разница между датчиками меньше 1 метра, уменьшается вдвое, если разница составляет 2 метра, и снижается до 1/5 от обычного, когда разница равна 5 метрам. При значении 50 нужна разница в 4 метра, чтобы доверие к GPS уменьшилось вдвое. При значении 0 оценка доверия к GPS не зависит от разницы показаний.

Следовательно, если доступны и GPS, и барометр, и **altitude\_source** установлен в **DEFAULT**, относительный баланс между барометром и GPS зависит от:

Оценки точности измерения высоты по **hDOP GPS**

Величины разницы между показаниями

Пользовательской настройки **altitude\_prefer\_baro**

Когда **altitude\_prefer\_baro** установлен на значение по умолчанию 100, показания барометра будут преобладать, если только погрешность не мала, а **hDOP GPS** не указывает на его точность. При более низких значениях **altitude\_prefer\_baro** относительное влияние GPS будет больше.

В общем, если у вас хороший барометр, особенно оригинальный Infineon DPS310 или DPS368 (и, вероятно, BMP280), вам следует принять значение по умолчанию **altitude\_prefer\_baro = 100** и использовать метод смешивания **DEFAULT**.

## Совет

Используйте отладку Altitude для детальной оценки показаний GPS и барометра:

| Debug | Данные                                             |
|-------|----------------------------------------------------|
| 0     | Значение gpsTrust                                  |
| 1     | baroAltitude, сантиметры                           |
| 2     | gpsAltitude, сантиметры (сброшенная при взведении) |
| 3     | Вариометр (Vario)                                  |

## Поддержка барометра в прошивке

В Betaflight 4.5 и выше конфигурационный файл платы автоматически включает базовый код BARO и драйверы для тех чипов барометров, которые производитель использует на данной плате, тип интерфейса, используемые пины и так далее.

Вот почему в большинстве случаев барометр должен работать "из коробки".

Если в конфигурационном файле платы нет поддержки барометра, и вы хотите подключить внешний барометр, в Betaflight 4.5 необходимо вручную включить код BARO и необходимую поддержку драйверов в сборку вашей прошивки.

Это достигается (например, для барометра DPS310) путем ввода **BARO\_BARO\_DPS310** в раздел Custom Defines вкладки Firmware Flasher Конфигуратора. Слово BARO включает базовый код барометра, а текст BARO\_DPS310 включает код драйвера DPS310. Для BMP280 строка будет **BARO\_BARO\_BMP280**.

В версиях 4.4 и ранее весь код барометра и все драйверы включались во все сборки прошивки.

## Подключение барометра к шине

Барометры почти всегда подключаются через интерфейс I<sup>2</sup>C, хотя некоторые используют SPI. Конфигурационный файл платы должен определять детали интерфейса/шины для барометра и используемые пины.

Полетный контроллер может иметь одну или две шины I<sup>2</sup>C ("устройства"). Конфигурационный файл автоматически устанавливает настройку baro\_i2c\_device для барометра.

На платах, где **baro\_i2c\_device** не определен, этому значению будет присвоен 0. Когда внешний барометр подключен вручную к интерфейсу I<sup>2</sup>C, пользователь должен вручную настроить параметр **baro\_i2c\_device** на шину 1 или 2, в зависимости от того, к какой шине подключен барометр.

## Аппаратная поддержка барометра

Как упоминалось выше, в Betaflight 4.5 или выше драйверы для чипов барометров, используемых на плате, определены в конфигурационном файле. Драйверы для дополнительных или других чипов барометров

должны быть добавлены вручную с помощью раздела Custom Defines вкладки Firmware Flasher Конфигуратора.

Каждый чип барометра имеет стандартный I<sup>2</sup>C "адрес". Некоторые барометры поддерживают альтернативные адреса, что иногда сбивает с толку автоматическое обнаружение.

По умолчанию настройка **baro\_i2c\_address** в Betaflight равна 0, и Betaflight будет искать поддерживаемые барометры по их стандартному адресу и подключаться к любому найденному барометру. Обратите внимание, что в версиях 4.5 и выше будут поддерживаться только те драйверы барометров, которые были встроены в прошивку.

| Барометр  | Стандартный I <sup>2</sup> C адрес (7_бит) | Примечания                                                                |
|-----------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| BMP085    | 119 (0x77)                                 | Тот же адрес, что и у BMP180                                              |
| MS5611    | 119 (0x77)                                 | Не распространен                                                          |
| BMP280    | 118 (0x76)                                 | Альтернативный - 119 (0x77), стандартный адрес BMP180                     |
| QMP6988   | 112 (0x70)                                 | Не распространен                                                          |
| DPS310    | 118 (0x76)                                 | Альтернативный - 119 (0x77) (указан как стандартный в спецификации)       |
| SPL06     | 118 (0x76)                                 | Клон BMP280, альтернативный - 119 (0x77) (может маскироваться под BMP180) |
| BMP388    | 118 (0x76)                                 | Тот же адрес, что у BMP280 и SPL06                                        |
| 2SMPB-02B | 112 (0x70)                                 | Не распространен                                                          |
| LPS22DF   | 93 (0x5D)                                  | Не распространен                                                          |

Если **baro\_i2c\_address** установлен на кастомное значение, Betaflight будет искать барометры, отвечающие только на указанный I<sup>2</sup>C адрес.

Команда интерфейса командной строки **baro\_hardware** по умолчанию имеет значение AUTO, что означает, что Betaflight попытается автоматически определить правильный чип барометра. Хотя многие чипы имеют одинаковый I<sup>2</sup>C адрес, на одном I<sup>2</sup>C адресе в любой момент времени должен присутствовать только один барометр.

В некоторых случаях может потребоваться принудительно указать Betaflight использовать только драйвер для определенного чипа, например, когда вы точно знаете, какой чип используется. Например, `set baro_hardware = DPS310` заставит Betaflight использовать драйвер для DPS310 (очевидно, этот драйвер должен быть включен в прошивку в версии 4.5 и выше).

Репозиторий Betaflight на GitHub содержит список всех поддерживаемых барометров и их драйверов, включая I<sup>2</sup>C адреса, по которым осуществляется поиск, и так далее.

Обратите внимание, что почти все чипы барометров имеют один и тот же I<sup>2</sup>C адрес. Если это не 118 (0x76), наиболее распространенной альтернативой является (редко) 119 (0x77).

## Барометр не обнаружен

Если при настройке `baro_i2c_address = 0` по умолчанию или при автоматическом обнаружении барометра поддерживаемый барометр не идентифицирован, возможные проблемы и решения включают:

| Проблема                                                                             | Решение                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Барометр не включен на вкладке Configuration                                         | Убедитесь, что переключатель для Baro установлен в положение 'on'                                           |
| Чип барометра питается только от LiPo                                                | Проверьте при подаче питания на вход LiPo                                                                   |
| Значение <code>baro_i2c_device</code> (шины) неверно                                 | Оно должно быть 1 или 2 и соответствовать физической шине, к которой припаян чип барометра                  |
| Код драйвера для этого барометра не включен в прошивку                               | Дополнительные драйверы можно добавить с помощью раздела Custom Defines вкладки Firmware Flasher            |
| Адрес чипа барометра изменен (кастомный)                                             | Попробуйте вручную настроить <code>baro_i2c_address</code> из списка выше                                   |
| На одном I <sup>2</sup> C адресе существует несколько драйверов и обнаружен неверный | Если вы точно знаете, какой барометр на вашей плате, установите <code>baro_hardware</code> на этот барометр |
| Чип барометра неисправен или подключен неправильно                                   | Проверьте подключение / замените чип                                                                        |

## Краткое описание команд интерфейса командной строки

Переменные интерфейса командной строки, связанные с барометром:

| Переменная       | Диапазон/<br>Значения                                                                | Описание                                                                                                                                   |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| baro_bustype     | NONE, I2C, SPI                                                                       | Задаёт тип шины, к которой подключено выбранное устройство барометра                                                                       |
| baro_i2c_device  | 0 ~ Максимальный номер шины I <sup>2</sup> C для типа микроконтроллера (начиная с 1) | Задаёт номер шины I <sup>2</sup> C, к которой подключено устройство, когда baro_bustype = I2C. 0 означает "нет". Соответствует x в I2Cx    |
| baro_i2c_address | 0 ~ 119 (0x77)                                                                       | Задаёт 7-битный I <sup>2</sup> C адрес устройства. 0 - специальное значение для "стандартного адреса драйвера". Значения 1 ~ 7 недопустимы |
| baro_spi_device  | 0 ~ Максимальный номер шины SPI для типа микроконтроллера (начиная с 1)              | Задаёт номер шины SPI, к которой подключено устройство, когда baro_bustype = SPI. 0 означает "нет". Соответствует x в SPIx                 |
| baro_hardware    | NONE, AUTO, BMP280, MS5611, BMP085                                                   | NONE = Поддержка барометра отключена. AUTO = Автоопределение. Остальные значения = явное указание устройства                               |

Если устройство подключено по SPI, вывод выбора микросхемы (Chip Select, CS) можно указать с помощью команды интерфейса командной строки resource:

| Имя ресурса | Описание                                       |
|-------------|------------------------------------------------|
| BARO_CS     | Задаёт вывод CS для включения барометра на SPI |

# Барометр (высотомер)

Барометр измеряет статическое давление; по барометрической формуле давление переводится в высоту. В нижней стратосфере (до ~11 км) связь линейна с хорошим приближением:

| Величина                | Значение                                      | Заметка                                                                                                                    |
|-------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Градиент (у земли, ISA) | $\approx 1 \text{ гПа} \approx 8,5 \text{ м}$ | у земли; на 5 км воздух реже — $1 \text{ гПа} \approx 13\text{--}15 \text{ м}$ (тот же сдвиг давления — больший по высоте) |
| Точность датчика        | $\pm 0,25\text{--}1 \text{ гПа}$              | → $\pm 2\text{--}8 \text{ м}$ по высоте (тип.)                                                                             |
| Динамика                | 50–100 Гц                                     | «дышит» от порывов, пропеллерного потока, ветра                                                                            |
| Абсолютный ориентир     | давление «абсолютная» высота                  | — в отличие от IMU: не накапливает ошибку, но «плывёт» с погодой                                                           |

Ветер и пропеллерный поток создают пульсации давления  $\pm 0,1\text{--}0,5 \text{ гПа}$  ( $\pm 1\text{--}4 \text{ м}$ ) — прошивка фильтрует, но «дрожание» высоты 0,3–1 м в удержании — нормальный барометрический вклад.

## Давление.

Давление — величина, которую авиатехник БПЛА (беспилотный летательный аппарат) встречает чаще всего: барометр высотомера, трубка Пито, метеообзоры.

## Атмосферное давление и барометр

«Нормальное» давление — 760 мм рт. ст. = 1013,25 гПа на уровне моря. На практике на уровне моря оно меняется с погодой в диапазоне примерно 985–1045 гПа; с высотой — закономерно на 5 000 м уже 540 гПа).

Барометр (ртутный, мембранный, электронный — BMP280/MS5611 на БПЛА) измеряет именно атмосферное давление. Выше 5 000 м ртутный барометр теряет точность из-за разрежения — поэтому на БПЛА электронные датчики.