

# НАСТРОЙКА ПИД РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ БПЛА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА СЕМЕЙСТВА ARDUINO

Д.А. Журман, Н.А. Афанасьев, А.С. Фадеев  
Научный руководитель – А.С. Фадеев  
Томский политехнический университет  
daz18@tpu.ru

## Введение

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) с четырьмя пропеллерами (квадрокоптер) является отличным примером системы, в которой стабилизация осуществляется с помощью регулятора, функционирующего по пропорционально-интегрально-дифференциальному закону управления, называемым ПИД регулятором. Управляющие сигналы, которые рассчитываются на микроконтроллере Arduino UNO, подаются на регуляторы скорости оборотов, в результате меняется положение летательного аппарата в пространстве, после чего квадрокоптер стабилизируется.

Существует много решений, как собрать свой квадрокоптер, но как показывает практика большинство людей сталкивается с теми или иными проблемами при сборке устройства. Одной из основных проблем является непонимание того, как реализуется стабилизация БПЛА в пространстве.

## Актуальность

Квадрокоптеры уже прочно закрепились во многих отраслях человеческой деятельности, благодаря возможностям, которые они предоставляют. Внедрение БПЛА позволяет добиться лучших показателей качества, затрачивая на это минимум ресурсов и задействуя при этом как можно меньше рабочей силы.

На сегодняшний день купить законченное изделие не составит проблем. Но, к сожалению, готовые решения до сих пор стоят достаточно дорого, поэтому все больше и больше людей стараются проявить изобретательность и собрать квадрокоптер самостоятельно. В этом случае часто прибегают к использованию специально созданных для БПЛА контроллеров, называемые полётными, с соответствующими прошивками к ним. Среди них самыми популярными типами являются MultiWii, ArduPilot, Open Pilot.

Большинство полетных контроллеров, особенно для любительских аппаратов, строятся на основе недорогих компонентов, которые приходится использовать на пределе возможностей. Также количество функций зависит от наличия на борту устройства соответствующей периферии, то есть ряд необходимых функций может вообще отсутствовать. Всё это порождает ряд проблем. Таким образом, квадрокоптер, созданный на базе распространенного микроконтроллера семейства Arduino, будет обладать следующими преимуществами:

1. Большое количество разъемов (пинов) и возможность использования дополнительных плат расширения функций контроллера.

2. Адаптивность программного обеспечения. Настройку квадрокоптера производят при помощи специализированного программного обеспечения. Для каждого полетного контроллера оно своё; часто с открытостью исходных кодов. Но изменить и добавить что-то в него для реализации выполнения своих уникальных задач бывает проблематично.
3. Низкая стоимость.

## Составные части рассматриваемого летательного аппарата:

1. Аппаратно-вычислительная платформа Arduino UNO;
2. Гироскоп MPU-6050;
3. Бесколлекторный двигатель A2212;
4. Регулятор скорости Hobbysky;
5. Приемник WFR07S;
6. Пульт WFT07;
7. Рама HJ450;
8. Аккумулятор HRB.

## Настройка ПИД регулятора

Основной целью ПИД регулирования для БПЛА является сведение ошибки, то есть разницы между значениями, поданными на ресивер, и значениями углов гироскопа, к нулю. Например, если требуется чтобы квадрокоптер оставался неподвижен, то значение, поданное на ресивер будет равно 0, следовательно, необходимо, чтобы значения углов гироскопа были тоже равны 0. Для достижения этого эффекта ПИД регулятор рассчитывает изменения, которые необходимо внести во вращение 4 двигателей, для того, чтобы поддерживать квадрокоптер на необходимом уровне.

ПИД регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала рассогласования, второе – интеграл сигнала рассогласования, третье – производная сигнала рассогласования.

Выходной сигнал регулятора  $u(t)$  определяется тремя слагаемыми:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

Где  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  – коэффициенты усиления пропорциональной, интегрирующей и дифференцирующей составляющих регулятора.

Пропорциональная составляющая рассчитывается как разница между значениями гироскопа  $g$  и ресивера  $r$ , умноженная на коэффициент  $K_p$ .

$$P = (g - r) \cdot K_p \quad (2)$$

Интегральная составляющая рассчитывается как разница между значениями гироскопа  $g$  и ресивера  $r$ , умноженная на коэффициент  $K_i$ , полученный результат суммируется с предыдущим значением интегрального регулятора  $I'$ .

$$I = I' (g - r) \cdot K_i \quad (3)$$

Дифференциальная составляющая рассчитывается как разница между предыдущими значениями гироскопа  $g_0$  и ресивера  $r_0$ , вычтенная из текущей разницы значений гироскопа ( $g$ ) и ресивера ( $r$ ), умноженная на коэффициент  $K_d$ .

$$D = (g - r - g_0 - r_0) \cdot K_d \quad (4)$$

Таким образом, настройка ПИД регулятора заключается в нахождении  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  для углов крена, тангажа и рыскания. Ниже, в качестве примера, приводится алгоритм поиска этих коэффициентов для угла крена:

1. Поиск коэффициента дифференцирования
  - 1) Приравниваем все коэффициенты к 0;
  - 2) Квадрокоптер был поставлен на ровную поверхность, а скорости вращения двигателей были установлены так, чтобы аппарат начал парить;
  - 3) Значение коэффициента дифференцирования было выставлено таким образом, что начали возникать колебания изделия при изменении угла;
  - 4) Величина этого коэффициента уменьшалась до тех пор, пока БПЛА не перестал колебаться при изменении угла.
2. Поиск коэффициента пропорциональности
  - 1) Значение  $K_p$  увеличивалось с шагом 0.2 до тех пор, пока при полете квадрокоптера пропорциональная и дифференциальная составляющая не стали компенсировать друг друга так, что аппарат сразу же падал при взлете.
  - 2) Коэффициент пропорциональности был уменьшен на 50% и, таким образом, получено оптимальное значение.
3. Поиск коэффициента интегрирования
  - 1) Значение  $K_i$  увеличивалось с шагом 0.01 до тех пор, пока при полете квадрокоптера не стали возникать колебания.

- 2) Коэффициент интегрирования был уменьшен на 50% и, таким образом, получено оптимальное значение.

Значения коэффициентов ПИД регулятора для угла тангажа можно принять равным тем, что найдены для угла крена. Коэффициенты для угла рыскания были найдены экспериментальным путем. Найденные значения были записаны в таблицу 1.

Таблица 1. Полученные значения коэффициентов

	$K_p$	$K_i$	$K_d$
Крен	1.3	0.03	15
Тангаж	1.3	0.03	15
Рыскание	4.0	0.02	0

Очевидно, что подобранные экспериментальным способом коэффициенты ПИД-регулятора не являются самыми оптимальными, однако позволяют достаточно быстро стабилизировать положение квадрокоптера, то есть решить поставленную задачу.

#### Заключение

В результате проведения исследования можно сделать вывод о том, что ПИД регулятор был настроен правильно, так как квадрокоптер осуществлял стабилизацию без сбоев и ошибок. Подобранные коэффициенты с небольшими корректировками могут быть использованы для X-образных квадрокоптеров со схожими габаритами и техническими характеристиками.

#### Список использованных источников

1. Блум, Джереми. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства : пер. с англ. / Дж. Блум. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2015. — 336 с.: ил.. — Предметный указатель: с. 333-336.. — ISBN 978-5-9775-3585-4.
2. Brian W. Evans. Arduino Programming Notebook. - Published: First Edition August 2007.
3. Бесколлекторные двигатели постоянного тока [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.avislab.com/blog/brushless01/>, свободный. — Загл. с экрана.
4. Официальный сайт Arduino [Электронный ресурс]. ]-URL:<http://arduino.cc>.
5. Петин, Виктор Александрович. Проекты с использованием контроллера Arduino / В. А. Петин. — 2-е изд., перераб. и доп.. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2015. — 462 с.: ил.. — Электроника. — ISBN 978-5-9775-3550-2.

Работа выполнена при поддержке Благотворительного фонда Владимира Потанина в рамках гранта ГК150001773.