



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 681.51

## РАБОТА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛЕТА КВАДРОКОПТЕРА

<sup>1</sup>Мецгер Н.В., Сагитов Д.И.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации», Санкт-Петербург, Россия (196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 36), e-mail: <sup>1</sup>legoprofi@yandex.ru

Статья представляет обзор основных комплектующих квадрокоптера (Датчиков, сенсоров, контроллеров и двигателей), а также анализ системы работы стабилизации полета. Особое внимание уделяется приборам, без которых система не могла бы существовать, и возможным улучшениям и дополнения, применимым к этой системе в ближайшем будущем.

Ключевые слова: БПЛА, квадрокоптер, акселерометр, компас, камера, электросхема, стабилизация, развитие.

## OPERATION OF THE QUADROCOPTER FLIGHT STABILIZATION SYSTEM

<sup>1</sup>Metzger N.V., Sagitov D.I.

St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia (196210, St. Petersburg, Pilotov str., 36), e-mail: <sup>1</sup>legoprofi@yandex.ru

The article presents an overview of the main components of the quadcopter (Sensors, sensors, controllers and engines), as well as an analysis of the flight stabilization system. Special attention is paid to the devices without which the system could not exist, and possible improvements and additions applicable to this system in the near future.

Keywords: UAV, quadcopter, accelerometer, compass, camera, wiring diagram, stabilization, development.

Квадрокоптер (от англ. quadcopter — «вертолет с четырьмя винтами») — это БПЛА (беспилотный летательный аппарат) с четырьмя пропеллерами, который обычно управляется пультом дистанционного управления с земли, в некоторых случаях полет осуществляется автономно, при помощи программы, в рамках которой оператор задает требуемый маршрут. Как правило, на нём устанавливается камера (или несколько камер), позволяющая вести в полёте фото- и видеосъёмку, некоторые модели оснащены сканером LiDar (от англ. Light detection and ranging – «Обнаружение с помощью света и оценка расстояния»), позволяющим строить трехмерные модели рельефа, объекта или сооружения.

За последние 10 лет рынок квадрокоптеров серьезно расширился и по сей день продолжает свое стремительное развитие (рисунок 1, 2). Диапазон моделей охватывает широкую аудиторию: от любителей-фотографов до профессионалов (военных, геодезистов, операторов и инженеров). Но благодаря какой системе операторы БПЛА полагаются на бесперебойную работы продукта, не волнуясь о сильном ветре, тряске во время полета и о потере управления?



Рисунок 1 – Компактный дрон для любительской фотографии

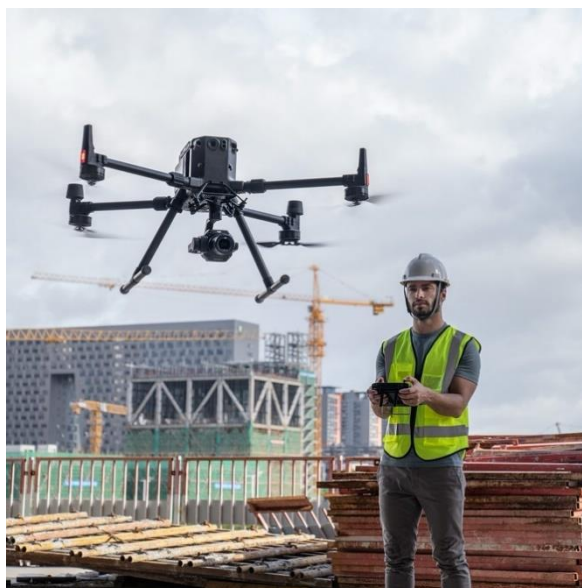


Рисунок 2 – Промышленный БПЛА, позволяющий выполнять широкий спектр задач

### ***Структура квадрокоптера***

Для того, чтобы понять, как работает система стабилизации полета, необходимо выделить основные элементы БПЛА. Основа любого квадрокоптера – рама, к которой крепятся четыре безколлекторных двигателя (в некоторых случаях – коллекторные, для удешевления производства и облегчения конструкции), вращающихся в разных направлениях. (рисунок 3)



Рисунок 3 – Схема вращения двигателей Квадрокоптера

Для контроля тяги используются регуляторы оборотов (могут быть внешними, а также могут быть интегрированы в полетный контроллер), которые позволяют регулировать количество оборотов в минуту на каждом двигателе индивидуально. Сигналы к регуляторам поступают от полетного контроллера, который содержит в себе множество различных устройств. В их состав чаще всего входят: акселерометр, гироскоп, компас, GPS модуль, барометр, датчики расстояния, сенсоры температуры, передатчики радио-и видеосигнала (рисунок 4). Питание всех элементов происходит от Аккумуляторной батареи.



**Структура БПЛА:**

1. *Рама*
2. *Электродвигатели*
3. *Регуляторы оборотов*
4. *Полетный контроллер*
5. *Пропеллеры (винты)*

Рисунок 4 – Структура БПЛА

**Актуальность системы стабилизации**

Большую часть своего эксплуатационного цикла БПЛА проводит на открытой местности, на высоте от 50 и до 500 метров, где воздушные потоки гораздо сильнее, чем на поверхности Земли. Неравномерность этих потоков (завихрения, турбулентность)

представляет большую опасность как для сравнительно небольших квадрокоптеров, так и для массивных промышленных моделей.

Существует распространенное мнение, что чем больше беспилотник, тем более он устойчив. Однако это не всегда так. Ключевую роль в стабилизации полета играет не только совершенный полетный контроллер с наиболее точными датчиками и актуальным программным обеспечением, но и мощные двигатели с точными регуляторами оборотов.

### ***Движение квадрокоптера в пространстве***

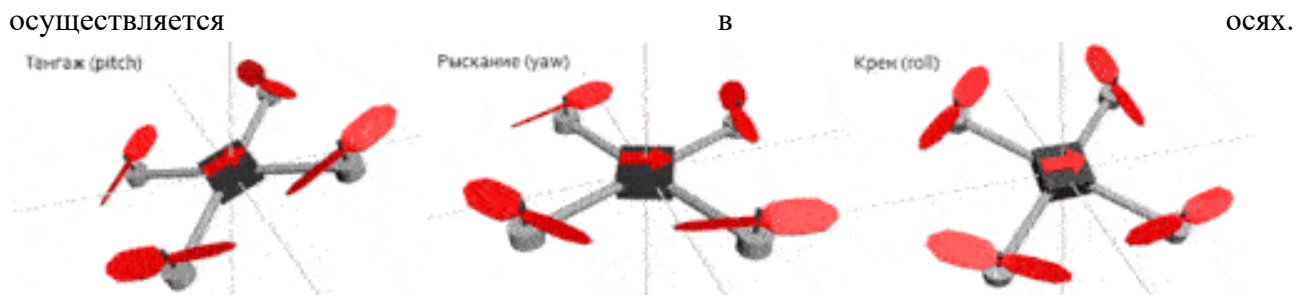
Для того, чтобы выяснить, что именно в полете требуется стабилизировать, необходимо выявить направления, в которых беспилотник перемещается в пространстве.

Существует 3 вида изменения положения квадрокоптера (рисунок 5): рысканье, тангаж и крен [4]. Отклонения квадрокоптера измеряются

Рысканье (от англ. Yaw) – вращение или поворот квадрокоптера вправо или влево, как поворот головы или смена курса.

Тангаж (от англ. Pitch) – наклон передней части квадрокоптера вверх или вниз.

Крен (от англ. Roll) – наклон квадрокоптера влево или вправо, в отличии от рысканья, осуществляется



*Рис. 4. Виды движения квадрокоптера в пространстве*

### ***Принцип работы системы стабилизации полета***

Система стабилизации полета установлена практически в каждом квадрокоптере, ведь без нее полет возможен только в безветренную погоду или в закрытом помещении. Так на каком же принципе она работает?

В любом полетном контроллере находятся два важных датчика: акселерометр и гироскоп [2]. Однако, существует мнение, что два этих датчика выполняют одну и ту же функцию: измерение угла отклонения БПЛА от горизонта по трем осям. На самом деле, это - заблуждение. Именно гироскоп отвечает за измерение угла летательного аппарата и угловой скорости, в то время как акселерометр измеряет ускорение, тоже по трем осям.

Для обработки информации, полученной с этих двух датчиков, существует специальное программное обеспечение полетного контроллера. Ветряные потоки воздействуют на квадрокоптер, он отклоняется от начального курса. Программа получает исходные данные с акселерометра и гироскопа: углы крена и тангажа. Далее путем математических вычислений контроллер высчитывает поправки, то есть необходимую мощность, которую нужно подать на двигатели, чтобы компенсировать углы отклонения. Для осуществления этих вычислений используется ПИД регулятор.

ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциальный) регулятор – такой алгоритм, который на основании величин отклонения, которые необходимо стабилизировать (компенсировать), посылает сигнал на регуляторы оборотов, которые в свою очередь меняет

частоту вращения моторов (их мощность) индивидуально. Чтобы найти эту поправку, используется следующая формула:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t). \quad [3]$$

Важным замечанием является то, что акселерометр и гироскоп расположены так, чтобы их оси совпадали с осями квадрокоптера.

#### *Дополнительные функции стабилизации полета*

Для решения более сложных задач, отличных от пейзажной видеосъемки и разведки территории, требуется дополнительный функционал системы стабилизации. Для более продвинутых моделей характерны более продвинутое полетные контроллеры, производящие замер, анализ и расчет параметров с большей частотой, для обеспечения плавности полета. Помимо такого рода улучшений, используются дополнительные устройства. Например, датчик GPS и барометр, которые замеряет координаты БПЛА в пространстве с максимальной точностью, что позволяет нивелировать любые отклонения от заданного курса, а также определяют зоны работы беспилотника.

Во время полета также используются специализированные видеокамеры, которые фотографируют поверхность под квадрокоптером во время полета, и сопоставляют ее с теми фото, которые получает камера в данный момент, при обнаружении отклонений производятся корректировки. Такая система называется VPS (Visual Positioning System – визуальная система позиционирования). Она особенно актуальна система при потере связи с пультом и слабым GPS сигнале (рисунок 6).



Рисунок 6 – Работы VPS на квадрокоптере DJI Mavic 2 Zoom

Также эти датчики-камеры способны измерять расстояние до объектов, что позволяет избегать столкновения во время полета и автоматизировать полет в целом. (AOAS – Aircraft Optical Avoidance System)

Таким образом, системы стабилизации полета квадрокоптеров с каждым годом продолжают стремительно развиваться. Совершенство этой системы зависит от оснащения БПЛА и технических возможностей полетного контроллера. Применения новых технологий, например нейросетей, позволит добиться улучшения безопасности, эффективности, автоматизации и надежности полетов в ближайшем будущем. БПЛА применяются во многих областях и существенно облегчают жизнь современного человека.

### Список литературы

1. Официальная страница DJI. - Режим доступа: <https://www.dji.com>
2. Гироскоп. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гироскоп#:~:text=Гироско́п%20\(от%20др.,гироскопа%20—%20юла%20\(волчок\).](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гироскоп#:~:text=Гироско́п%20(от%20др.,гироскопа%20—%20юла%20(волчок).)
3. Гэн К., Чулин Н. А. Алгоритмы стабилизации для автоматического управления траекторным движением БПЛА. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-stabilizatsii-kvadrokoptera-uglovaya-stabilizatsiya>
4. Как летает квадрокоптер, пропеллеры и двигатели в подробностях. - Режим доступа: <https://quadrone.ru/blog/stati/kak-letaet-kvadrokopter-propellery-i-dvigatel-v-podrobnostyakh>

### References

1. Official DJI page. - Access mode: <https://www.dji.com>
  2. Gyroscope. – Access mode: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гироскоп#:~:text=Gyroscope%20\(from%20dr.,gyroscope%20—%20yula%20\(top\).](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гироскоп#:~:text=Gyroscope%20(from%20dr.,gyroscope%20—%20yula%20(top).)
  3. Geng K., Chulin N. A. Stabilization algorithms for automatic control of the trajectory of the UAV. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-stabilizatsii-kvadrokoptera-uglovaya-stabilizatsiya>
  4. How the quadcopter, propellers and engines fly in detail. - Access mode: <https://quadrone.ru/blog/stati/kak-letaet-kvadrokopter-propellery-i-dvigatel-v-podrobnostyakh>
-