

УДК 62-519

Д.В. Штаев

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского  
Владивосток. Россия

## **Анализ технологии управления беспилотными летательными аппаратами**

В статье описываются составляющие применяемой на данный момент технологии управления беспилотными летательными аппаратами. В основном речь идет об аппаратах вертолетного типа, способах управления, уровнях автоматизации (управления, автоматизации механизмов), двигателях, датчиках, способах связи, управления, в том числе используемых микроконтроллерах и обработке сигнала. Перечислены информационные ресурсы о дронах и основные проблемы, препятствующие развитию технологии и требующие решения.

**Ключевые слова и словосочетания:** беспилотный летательный аппарат (БПЛА), дрон, микроконтроллер, интерфейс, электронный регулятор скорости, крен, тангаж, рыскание, инерциальный измерительный блок, широтно-импульсная модуляция (ШИМ), вид от первого лица.

D.V. Shtaev

G.I. Nevelskoy Maritime State University  
Vladivostok. Russia

## **Analysis of control technology of unmanned aerial vehicles**

The article describes parts of technology of control unmanned aerial vehicles used now. This mainly concerns vertical take-off and landing's type unmanned aerial vehicles, control methods, automation levels (control, automation and mechanisms), motors, sensors, communication methods, control, including using MicroPC and signal processing. Lists information resources about drones and the frequent problems impeding development of technology and needing to resolve.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicles (UAV), drone, microcontroller, interface, electric speed controller, roll, pitch, yaw, inertial measuring unit (IMU), pulse phase modulation (PPM), first person view (FPV)

---

Штаев Денис Викторович – заведующий учебно-научной лабораторией диагностики и надежности радиоэлектронного оборудования кафедры радиоэлектроники и радиосвязи; e-mail: shtaevdv@mail.ru

*Объект исследования:* теория мобильной связи и управления техническими системами.

*Предмет исследования:* технологии беспроводного дистанционного управления сложными автономными техническими объектами.

*Цель:* анализ технологий и методов дистанционного управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), выявление актуальных проблем в управлении и связи.

**Введение.** На данный момент наиболее распространены БПЛА двух типов конструкции: самолетного (в том числе, реактивные) и вертолетного типа, использующие вертикальный взлет и посадку (VTOL – vertical take-off and landing). Выбор той или иной конструкции зависит от типа задач, для которых предназначен аппарат (например: аэрофотосъемка, разведка, военные операции, доставка грузов, проникновение в труднодоступные места, тушение пожаров и т.д.). Для полетов на дальние расстояния используют БПЛА самолетного типа, поскольку они имеют значительное превосходство в скорости.

По способам управления БПЛА разделяют на: автономные, полуавтономные, управляемые. Выбор способа управления так же зависит от сложности выполнения поставленных перед аппаратом задач и связанных с его работой рисков. Рассмотрим более подробно получившие стремительное развитие в последнее время БПЛА вертолетного типа, также называемые дронами или X-коптерами, где X – числительное на греческом языке, означающее количество винтов аппарата [1].

**1. Трехуровневая структура БПЛА вертолетного типа.** В системе управления БПЛА можно выделить три уровня автоматизации:

Верхний (Management Level) – уровень диспетчеризации и администрирования, осуществляющий взаимодействие между оператором (диспетчером, пользователем) через интерфейс с контроллерами среднего уровня.

Средний (Automation Level) – уровень автоматизированного управления процессами с помощью контроллеров, модулей ввода-вывода сигналов и коммуникационного оборудования.

Нижний (Field Level) – уровень оконечных устройств, включающий в себя датчики и исполнительные механизмы.

**2. Состав нижнего уровня.** На нижнем уровне применяют двигатели двух типов: коллекторные и бесколлекторные. У коллекторного двигателя обмотки находятся на роторе (вращающейся части), а у бесколлекторного – на статоре (неподвижной части). Бесколлекторные двигатели (BLDC-двигатели) не используют щеток и коллекторов и при наличии хороших подшипников требуют минимального технического обслуживания. Ротор BLDC-двигателей изготавливается из постоянного магнита и не имеет обмоток. Статор содержит обмотки, переменное поле которых приводит к вращению ротора. Управление двигателями осуществляется с помощью задания направления и скорости вращения винтов через подключаемые к ним электронные регуляторы скорости (Electric Speed Controller – ESC). На вход ESC подается напряжение с аккумулятора и управляющие сигналы с микроконтроллера, на выход регулятор отдает напряжение

для привода. Увеличением числа оборотов винтов в единицу времени задается подъем, уменьшением – опускание. Увеличение оборотов двух боковых винтов задает крен (roll), а передних или задних – тангаж (pitch) с последующим движением в сторону или подъемом/снижением по косой соответственно, а винтов, расположенных на одной из косых осей, – разворот аппарата влево или вправо (рыскание – yaw). Для стабилизации движения одна пара винтов всегда вращается по часовой стрелке, другая – против (рис. 1), компенсируя этим крутящий момент [3].

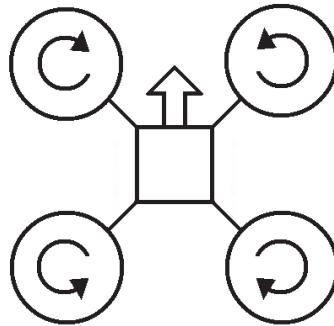


Рис. 1. Схема направления вращения винтов квадрокоптера

Кроме двигателей на нижнем уровне встраиваются различные датчики. Инерциальный измерительный блок (IMU) служит для отслеживания текущего ускорения устройства, используя для этого сочетание нескольких акселерометров (показывает отклонение аппарата от горизонтальной оси) и гироскоп (отображает направление движения аппарата по одному из 6 направлений). Также включают магнитометр, служащий для дополнительной стабилизации аппарата, что является важной и сложной задачей, т.к. распределение веса дрона не всегда симметрично. В таком случае БПЛА при полете будет иметь крен и с течением времени отклоняться от задаваемого маршрута. Данную проблему можно решить путем регулировки тяги двигателей, но это потребует пределения крена, тангажа и рыскания. Для измерения этих угловых координат используют инерционные сенсоры или модули iNEMO, представляющие собой комбинацию из трехосевого акселерометра и трехосевого гироскопа.

Для отслеживания местоположения аппарата используют баросенсор (электронный барометр), определяющий высоту полета, и микросхемы семейства Teseo II и Teseo III, согласующиеся с одной из существующих систем позиционирования – чаще GPS или Glonass (в России), в других странах: Galileo (Европа), BeiDou2 (Китай), QZSS (Япония). Для упрощения навигации используют функцию Failsafe – запоминание с помощью компаса пути движения, используемого затем для возвращения. Иногда применяют сонар (ультразвуковой сенсор) для облета препятствий, мягкой посадки или сканирования поверхности при незначительной высоте полета над ней (до трех метров). Установка видеокамеры на борту БПЛА позволяет транслировать вид от первого лица (FPV –

First Person View), который может быть особенно полезен при удалении аппарата на большое расстояние или выходе из поля непосредственного наблюдения за ним. Необходимо помнить, что большее количество датчиков увеличивает вес и габариты аппарата, а их отсутствие – приводит к снижению маневренности [2–4].

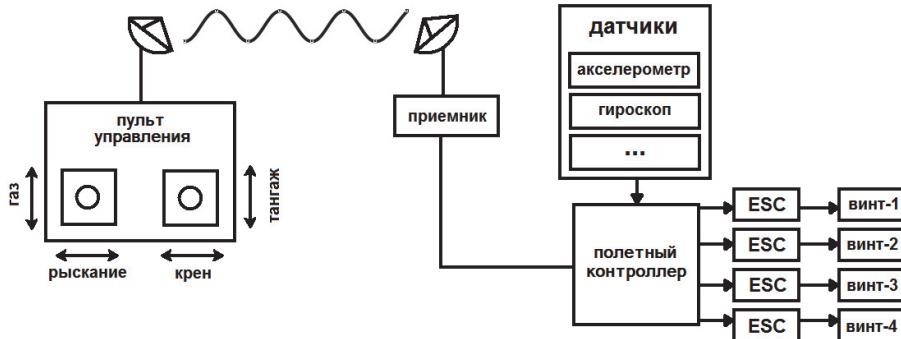


Рис. 2. Схема связи пульта, контроллера и датчиков в БПЛА

Сигналы GPS-навигаторов можно глушить, перехватывать и подменять. Существует система перехвата управления БПЛА путём так называемого «GPS-спуфинга», но только для тех аппаратов, которые используют незашифрованный гражданский сигнал GPS. Для обнаружения используют радиолокационные станции, оптические и акустические средства обнаружения [1].

**3. Состав среднего уровня.** В качестве аппаратуры управления в дронах применяют цифровые сигнальные процессоры или микроконтроллеры (MicroPC), программируемые на языках высокого уровня, таких как C, C++, Модула-2, Оберон SA или Ада95, и управляемые операционными системами (интерфейсами) реального времени (QNX, VME, VxWorks, X Oberon). Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) – диспетчерское управление и сбор данных – программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем мониторинга или управления [2].

Для дронов используют специальный полетный контроллер (Flight Control Unit, FCU), который отдает команды ESC либо посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ/PWM), т.е. режим регулятора скорости задается длительностью импульсов, либо по последовательному интерфейсу Inter-Integrated Circuit (I2C/I2C), тогда режим регулятора задается цифровыми сигналами: первый – определяет адрес устройства, второй – задает значение от 0 до 255. Упрощенная схема связи пульта управления БПЛА, контроллера, датчиков и других блоков изображена на рис. 2 [3].

**4. Верхний уровень, или средства связи, используемые в управлении и телеметрии БПЛА вертолетного типа.** Чем сложнее техническая система, которой мы управляем, тем большее количество независимых каналов связи для этого требуется. Причинами разделения каналов могут быть: резервное дублирование, необходимость использования сигналов разного характера и др.

Каналы управления бывают двух типов: дискретные – те, у которых есть только два режима (включено и выключено), и пропорциональные – те, у которых величина какого-либо параметра управляемого объекта изменяется пропорционально отклонению регулятора на пульте управления (руля, рычага джойстика, ползунка в интерфейсе). Даже при разделении каналов некоторые из них могут быть все равно связаны и зависеть друг от друга. Например, сигналы от парных двигателей в симметричных аппаратах могут быть в один момент времени независимы друг от друга, например для поворота во время движения, а в другой – работать синхронно для поддержания прямолинейности хода, либо величина одного сигнала может служить условием для расчета величины другого. В таком случае применяется микширование сигналов: два сигнала смешиваются по какому-либо математическому закону и затем, разделяясь снова или суммируясь в один, направляются на исполнительные устройства.

Для пульта управления сигналы могут быть исходящими и входящими. Первые – управляющие, направляемые на исполнительные устройства, вторые – телеметрические, считывающие значения с устройств и отражающие их в интерфейсе [5].

Каналы уплотняются в один посредством кодирования. Обычно для этого используются: широтно-импульсная модуляция – PPM (Pulse Phase Modulation) и импульсно-кодовая модуляция – PCM (Pulse Code Modulation). PPM сигнал имеет фиксированную длину периода  $T = 20$  мс. Это означает, что информация о положениях ручек управления на передатчике попадает на модель 50 раз в секунду. Для систем, отражающих пилотируемое оператором управление аппаратом, этого достаточно, поскольку скорость реакции пилота намного меньше. Диапазон изменения величины временного промежутка при движении джойстика из одного крайнего положения в другое определен от 1 до 2 мс. Значение 1,5 мс соответствует среднему (нейтральному) положению джойстика (ручки управления). Продолжительность межканального импульса составляет около 0,3 мс – стандарт для всех производителей RC-аппаратуры.

Разными производителями выпускаются модули, позволяющие по одному основному каналу передавать до 8 дополнительных каналов. При этом в передатчик устанавливается модуль кодера с восьмью ручками или тумблерами, занимающий один из основных каналов, а к приемнику на этом канале включается декодер, имеющий восемь выходов. Принцип уплотнения сводится к последовательной передаче через данный основной канал по одному дополнительному каналу в каждом 20-ти миллисекундном цикле. Другими словами, информация обо всех восьми дополнительных каналах с передатчика на приемник попадет только через восемь циклов сигнала – за 0,16 секунды [5].

Для управления БПЛА требуются каналы связи высокой пропускной способности, которые сложно организовать, особенно для загоризонтной (спутниковой) связи. Преимущество цифрового канала связи заключается в легкости коммутации с любым цифровым оконечным устройством, выступающим в роли пульта управления и отображения, будь то смартфон или планшет. Недостатками такого канала будут ограничение дальности связи диапазоном работы Wi-Fi

или Bluetooth и наличие задержки передаваемого сигнала. Недостаток аналогового канала – увеличение стоимости аппаратного комплекса за счет дополнительного устройства отображения. Наиболее часто используют частоты 2,4 ГГц и 5,8 ГГц. Для первого диапазона характерны наличие большего количества помех от других приборов, но при этом большая дальность связи (до 7 км). Для второго диапазона характерно удорожание более мощного передатчика [3].

**Заключение.** В качестве информационного освещения темы существует несколько профессиональных интернет-ресурсов о дронах:

Dronecode.org – проект свободной платформы с открытым исходным кодом для БПЛА;

Ecalc.ch – англоязычный сайт-калькулятор для проектирования дронов;

Dronomania.ru – русскоязычный онлайн-журнал о дронах.

К наиболее проблемным факторам развития индустрии можно отнести:

1) удорожание и утяжеление аппарата за счет дополнительного оборудования или снижение его маневренности и увеличение аварийности БПЛ из-за отсутствия дополнительного оборудования. Большая часть БПЛА не оборудована системами распознавания препятствий и ухода от столкновений или оборудована примитивными автопилотами, из-за чего возникает риск потери аппарата;

2) малая длительность полета дронов, зависящая от массы аппарата и емкости аккумуляторов. Для дальних и долгих полетов в предпочтении все еще остаются БПЛА самолетного типа, которые, тем не мснее, проигрывают вертолетным в массе и наборе выполняемых операций.

1. Зинченко О.Н. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки и для картографирования. М., 2011 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.racurs.ru/www\\_download/articles/UAV\\_1.pdf](http://www.racurs.ru/www_download/articles/UAV_1.pdf)
2. Википедия. Беспилотный летательный аппарат [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный\\_летательный\\_аппарат](https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный_летательный_аппарат)
3. Что такое квадрокоптер// Дрономания: онлайн журнал о дронах [Электронный ресурс]. URL: <https://dronomania.ru/faq/cto-takoe-kvadrokopter.html>
4. «Летать! – дрон на компонентах STMicroelectronics» // Новости электроники. 2017. № 2. С. 6–23.
5. RCdesign – Радиоуправляемые модели и игрушки. Аппаратура радиоуправления. Ч. I: Передатчики [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rcdesign.ru/articles/radio/tx\\_intro](http://www.rcdesign.ru/articles/radio/tx_intro)

### Транслитерация

1. Zinchenko O.N. Bespilotnyj letatel'nyj apparat: primenenie v celyah aerofotos"emki i dlya kartografirovaniya., M., 2011 [Elektronnyj resurs]. URL: [http://www.racurs.ru/www\\_download/articles/UAV\\_1.pdf](http://www.racurs.ru/www_download/articles/UAV_1.pdf)
2. Vikipediya. Bespilotnyj letatel'nyj apparat [Elektronnyj resurs]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Bespilotnyj\\_letatel'nyj\\_apparat](https://ru.wikipedia.org/wiki/Bespilotnyj_letatel'nyj_apparat)
3. CHto takoe kvadrokopter // Dronomaniya: onlajn zhurnal o dronah [Elektronnyj resurs]. URL: <https://dronomania.ru/faq/cto-takoe-kvadrokopter.html>
4. «Letat! – dron na komponentah STMicroelectronics» // Novosti elektroniki. 2017. № 2. P. 6–23.

---

5. RCdesign – Radioupravlyayemye modeli i igrushki. Apparatura radioupravleniya. Chast' I. Peredatchiki [Elektronnyj resurs]. URL: [http://www.rcdesign.ru/articles/radio/tx\\_intro](http://www.rcdesign.ru/articles/radio/tx_intro)

© Д.В. Штаев, 2019

**Для цитирования:** Штаев Д.В. Анализ технологии управления беспилотными летательными аппаратами // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2019. Т. 11, № 2. С. 113–119.

**For citation:** Shtaev D.V. Analysis of control technology of unmanned aerial vehicles, *The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University of Economics and Service*, 2019, Vol. 11, № 2, pp. 113–119.

DOI [dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2019-2/113-119](https://dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2019-2/113-119)

Дата поступления: 28.05.2019.