

УДК 681.51

*Липнин Юрий Анатольевич,*  
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Промышленной электроники и информационно-измерительной техники» ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», тел.: 51-22-15

*Семенов Алексей Евгеньевич,*  
студент кафедры «Промышленной электроники и информационно измерительной техники» ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», тел.: 89996435923

*Шамсова Елена Рустамовна,*  
студентка кафедры  
«Промышленной электроники и информационно измерительной техники»  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», тел.: 89996432500

## ПРИМЕНЕНИЕ СЕРВОПРИВОДОВ В БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

*Lipnin Yu.A., Semenov A.E., Shamsova E.R.*

### THE USING OF SERVO DRIVES IN UNMANNED AERIAL VEHICLES

**Аннотация.** Рассмотрена конструкция и структурная схема бортового комплекса управления, а также его применение в беспилотных летательных аппаратах.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, сервопривод, микроконтроллер, устройства, датчики.

**Abstract.** The design and structural scheme of the on-Board control complex, as well as its application in unmanned aerial vehicles, are considered.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, servo, microcontroller, devices, sensors.

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в народном хозяйстве имеет огромное значение, и с каждым годом интерес к их использованию растет [1]. В основном БПЛА применяются для наблюдения за поверхностью земли, например, с их помощью осуществляют контроль за возгоранием и распространением очага пожара в лесах. БПЛА оснащаются разнообразными датчиками, в том числе мультиспектральными камерами с высокой четкостью, системами спутниковой навигации, малогабаритными бортовыми компьютерами и т.д. [2].

В качестве исполнительных устройств чаще всего применяются сервоприводы, к которым подключаются аэродинамические поверхности, с помощью которых осуществляется управление летательным аппаратом в пространстве. Также сервоприводы используются в механизмах различного назначения, например, управляют положением камеры наблюдения внутри БПЛА.

Расположение сервоприводов на БПЛА может быть любым. В качестве примера рассмотрим БПЛА типа «Дельта-М», показанный на рисунке 1 [3].

Два сервопривода в корневой части крыла предназначены для управления элеронами. Элевон – аэродинамическая поверх-

ность, совмещающая функции элерона и руля высоты.

Элерон – отклоняемая часть крыла, предназначенная для создания крена БПЛА. Сервоприводы с объемом, не превышающим 100 см<sup>3</sup>, чаще всего размещают на БПЛА с размахом крыльев до трёх метров, и с массой до 10 килограмм. Количество может быть разным, от четырех до десяти штук.

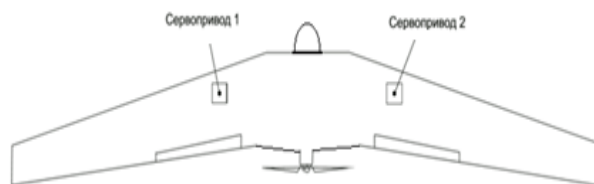


Рисунок 1 – Расположение сервоприводов в БПЛА «Дельта-М»

Обычно конструкция сервопривода включает в себя электромотор с редуктором, датчик обратной связи (потенциометр), предназначенный для контроля положения выходного вала, блок управления и систему электропитания. На рисунке 2 показано устройство простого сервопривода БПЛА. Мощность, развиваемая на выходном валу сервопривода, создаётся встроенным элек-

тродвигателем. В ранних конструкция сервоприводов применялись коллекторные электродвигатели постоянного тока с тремя роторными обмотками, размещёнными внутри постоянного магнита статора.



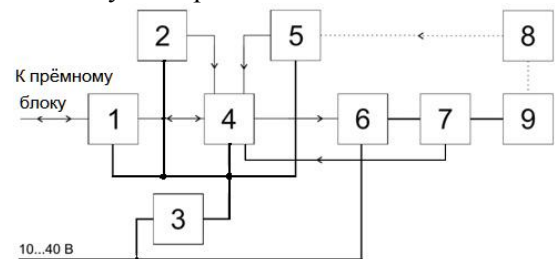
Рисунок 2 – Устройство сервопривода БПЛА массой до 10 кг

В настоящее время применяются электродвигатели с большим числом обмоток, имеющие повышенный момент на валу при тех же размерах. Кроме того, обмотки стали располагать снаружи магнита, что привело к уменьшению инерции разгона и торможения ротора. Такое конструктивное решение обеспечивает повышение точности поворота выходного вала сервопривода. Дальнейшее развитие конструкции электродвигателей сервоприводов привело к отказу от коллектора. В таких электродвигателях в качестве ротора применяют постоянный магнит, совмещённый с выходным валом, а обмотки располагаются в статоре. Переключение токов обмоток статора обеспечивает силовая электронная схема. Применение бесколлекторных электродвигателей постоянного тока даёт возможность создавать сервоприводы повышенной надёжностью и высокой точностью.

Электрическая схема управления сервоприводом представляет собой достаточно сложную конструкцию. На рисунке 3 показана структурная схема бортового комплекса управления, применяемого в БПЛА «Дельта-М».

Управление устройством может осуществляться, например, с помощью микроконтроллера серии STM32F4 [4]. Микроконтроллер управляет преобразователем интерфейса (1), который предназначен для связи с приёмным блоком. Связь осуществляется посредством интерфейса RS485, что позволяет получить большую устойчивость к синфазным помехам [5]. Далее микроконтроллер (4)

через управляющие сигналы воздействует на устройство управления (6), через это устройство подводится электрическая энергия к электродвигателю (9). Электродвигатель через редуктор (8) механически связан с датчиком обратной связи (5), с этого датчика в микроконтроллер (4) поступает сигнал об угле поворота выходного вала сервопривода. В качестве датчика обратной связи используется преобразователь на основе датчиков Холла. На корпусе электродвигателя установлен датчик температуры (2). Сигнал с датчика температуры, поступающий в микроконтроллер (4), позволяет микроконтроллеру ограничить подвод электрической энергии в случае перегрева корпуса и тем самым обеспечивается более надёжное функционирование сервопривода. Дополнительно подвод электрической энергии к электродвигателю контролируется микроконтроллером через датчик тока (7). В случае аварийной ситуации (обрыв в обмотках, замыкание в коллекторе, заклинивание в редукторе и т.п.) с датчика тока поступает аварийный сигнал в микроконтроллер. Электронная схема сервопривода обеспечивается электрической энергией от стабилизированного источника питания (3). Конструктивно он представляет собой малогабаритный импульсный преобразователь напряжения, имеющий высокий КПД и защиту от короткого замыкания.



- 1 - преобразователь интерфейса.
- 2 - датчик температуры.
- 3 - источник питания.
- 4 - микроконтроллер.
- 5 - датчик обратной связи.
- 6 - устройство управления.
- 7 - датчик тока.
- 8 - редуктор.
- 9 - двигатель

Рисунок 3 – Структурная схема бортового комплекса управления БПЛА «Дельта-М»

В настоящее время размеры и масса БПЛА могут быть различными: от нескольких десятков грамм (Норвежский БПЛА “BlackHornetNano” масса которого около 18 грамм) до нескольких тонн (Российский БПЛА “Охотник”, масса которого составляет 25 тонн), и в каждом из них применяются сервоприводы. Сервоприводы применяются не только в БПЛА, но и в беспилотных на-

земных, наводных и подводных аппаратах. В каждом из этих устройств можно увидеть

сервоприводы с похожими конструктивными и схемотехническими решениями.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский институт стратегических исследований [Электронный ресурс] // Беспилотные летательные аппараты – новая реальность войны. URL: <https://riss.ru/bookstore/journal/20152/problemy-natsionalnoj-strategii-3-30> (дата обращения: 02.10.2019).

2. Открытая наука [Электронный ресурс] // Проектирование и разработка сервопривода. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/proektirovanie-i-razrabotka-servoprivoda-dlya-primeneniya-v-bespilotnyh-letatelnyh-apparatah> (дата обращения: 01.10.2019).

3. ООО НПП «АВАКС-ГеоСервис» [Электронный ресурс] // Основные параметры

БПЛА DELTA-M. URL: <https://uavsiberia.com/catalog/product/deltam> (дата обращения: 05.10.2019).

4. НТС-ЭКО [Электронный ресурс] // Сервопривод: принцип работы, виды. URL: [http://www.tech trends.ru/techdept/techarticles/servoprivod\\_chno\\_takoe\\_princip\\_vidy.php](http://www.tech trends.ru/techdept/techarticles/servoprivod_chno_takoe_princip_vidy.php) (дата обращения: 02.10.2019).

5. RadioLaba.ru [Электронный ресурс] // Управление сервоприводом на микроконтроллере URL: <https://radiolaba.ru/microcontrollers/upravlenieservoprivodomnamikrokontrolle.html> (дата обращения: 04.10.2019).

УДК 531.01

Сенотова Светлана Анатольевна,

к.т.н., доцент, доцент кафедры «Вычислительные машины и комплексы»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», тел.: 89021723488

### О ФОРМАХ РАВНОВЕСИЯ НИТИ

Senotova S.A.

### ON THE FORMS OF THREAD EQUILIBRIUM

**Аннотация.** В статье рассмотрены формы равновесия нити в поле силы тяжести и в центральном поле сил. Получена форма равновесия нити на круговой орбите.

**Ключевые слова:** Формы равновесия нити, орбитальные тросовые системы, эллиптический синус.

**Abstract.** The article considers the forms of balance of the thread in the parallel and in the central field of forces. Form of thread equilibrium in circular orbit is obtained.

**Keywords:** Forms of balance of thread, the orbital tether system, the elliptic sine.

Формы равновесия нити всегда интересовали ученых [1-7]. Галилей считал, что нить, провисающая под действием собственного веса, принимает форму параболы второго порядка. Однако он ошибался. Лишь через полвека, Иоганном Бернулли, Готфридом Лейбницем и Христианом Гюйгенсом было выведено уравнение цепной линии (рисунок 1) [1].

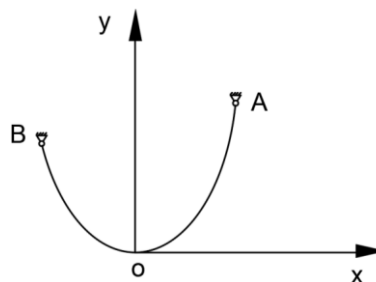


Рисунок 1 – Цепная линия.