

Научная статья
УДК 621.311

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДЛЯ ПРИВЯЗНОГО БПЛА

Константин Дмитриевич Горлов¹, Александр Витальевич Лубенцов²

^{1, 2} Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний
России, Воронеж, Россия,

^{1, 2} lubensov@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе рассматривается проектирование системы питания для привязного беспилотного летательного аппарата. Основное внимание уделяется выбору и обоснованию компонентов, необходимых для обеспечения стабильной и продолжительной работы устройства.

Ключевые слова: привязной БПЛА, блок питания, кабель питания

Для цитирования: Горлов К. Д., Лубенцов А. В. Проектирование системы питания для привязного БПЛА // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 610–614.

Original article

DESIGNING A POWER SUPPLY SYSTEM FOR A TETHERED UAV

Konstantin D. Gorlov¹, Alexander V. Lubentsov²

^{1, 2} Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia,
Voronezh, Russia

^{1, 2} lubensov@mail.ru

Abstract. This paper considers the design of a power supply system for a tethered unmanned aerial vehicle. The main focus is on the selection and justification of the components necessary to ensure stable and long-term operation of the device.

Keywords: tethered UAV, power supply, power cable

For citation: Gorlov K. D., Lubentsov A. V. (2026) Proektirovanie sistemy` pitaniya dlya privyaznogo BPLA [Designing a power supply system for a tethered UAV]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 610–614. (In Russ).

© Горлов К. Д., Лубенцов А. В., 2026

Привязные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой особый класс летательных систем, которые получают энергию и зачастую данные по кабелю с наземной станции. Такое решение позволяет обеспечивать практически неограниченное время полета, что критически важно для задач длительного наблюдения, ретрансляции связи, охраны периметра и проведения световых шоу.

Ключевым элементом, обеспечивающим жизнеспособность всей системы, является система электропитания, состоящая из двух основных компонентов:

- 1) наземный блок питания (БП);
- 2) кабель питания (силовой трос).

Проектирование этой системы требует комплексного подхода, учитывающего электрические, механические и эксплуатационные требования [1].

Проектирование наземного блока питания (БП)

Основная задача блока питания – преобразование доступного напряжения (например, от сети 220В, генератора или аккумуляторной батареи) в стабильное напряжение, необходимое для работы БПЛА, с компенсацией потерь в кабеле.

Ключевые требования и расчетные параметры:

– выходная мощность (P_{out}) – определяется суммарной мощностью, потребляемой БПЛА: $P_{out} = P_{двигателей} + P_{авионики} + P_{полезной_нагрузки}$ (камеры, передатчики);

– необходимо закладывать запас мощности не менее 20...30 % для пиковых нагрузок и обеспечения надежности;

– выходное напряжение (U_{out}). Выбор напряжения – это компромисс:

- высокое напряжение (например, 48V, 400V, 600V). *Плюсы:* снижение силы тока ($I = P/U$) при той же мощности. Это позволяет использовать более тонкий и легкий кабель, что снижает его вес и нагрузку на БПЛА. *Минусы:* необходимость в преобразователе напряжения на борту БПЛА для питания низковольтной электроники (12V, 5V), что усложняет конструкцию и снижает общий КПД;

- низкое напряжение (например, 12V, 24V). *Плюсы:* простота бортовой схемы, возможность прямого питания от аккумуляторов при перебоях. *Минусы:* высокая сила тока, требующая толстого и тяжелого кабеля, что ограничивает высоту и маневренность;

– стабильность напряжения. БП должен компенсировать падение напряжения в кабеле. Используется режим стабилизации напряжения на конце линии (Remote Sense). Блок питания поднимает выходное напряжение на своей клемме ровно настолько, чтобы на входе в БПЛА было требуемое значение, несмотря на сопротивление кабеля;

– КПД. Должен быть максимально высоким (обычно > 90 %), чтобы минимизировать потери энергии и тепловыделение. Предпочтение отдается импульсным источникам питания (SMPS);

– защита. Обязательный комплекс систем защиты:

- от короткого замыкания (КЗ);

- от перегрузки по току;
- от перегрева;
- от перенапряжения и скачков в сети;

– система управления и мониторинга: современные БП часто имеют интерфейсы (CAN, Ethernet) для дистанционного включения/выключения, мониторинга выходных параметров (ток, напряжение) и диагностики (рисунок) [2, 3].



Структурная схема блока питания

Проектирование кабеля питания (силового троса)

Кабель в привязном БПЛА – это не просто провод, а критически важный функциональный элемент, испытывающий комплекс нагрузок [4].

Электрические аспекты проектирования:

– расчет падения напряжения. Это основной расчет:

$$\Delta U = IR_{\text{cable}}L2,$$

где L – длина;

2 – учет обоих проводников: «+» и «–»;

• сопротивление кабеля: R_{cable} зависит от материала (медь) и сечения жилы (S);

• цель проектирования – выбрать такое сечение, чтобы падение напряжения ΔU при максимальной длине и максимальном токе было в допустимых пределах (обычно 5...10 % от U_{out});

– выбор сечения жилы. Чем больше ток и длина, тем больше должно быть сечение. Однако с увеличением сечения растет вес и жесткость кабеля.

Механические аспекты проектирования:

– вес. Является главным ограничивающим фактором. Вес кабеля создает постоянную нагрузку на двигатели БПЛА, снижая эффективность и ограничивая максимальную высоту;

– прочность на разрыв. Кабель должен выдерживать вес самого себя на всей рабочей длине, а также динамические нагрузки от ветра, рывков и маневров БПЛА. Для этого используются:

• несущая жила (сердечник) из высокопрочных материалов (арамидные волокна (Кевлар, Динима), спектры). Именно этот сердечник воспринимает механическую нагрузку;

• экранирование: медная оплетка для защиты от электромагнитных помех;

– гибкость и стойкость к скручиванию. Кабель постоянно изгибается и скручивается. Конструкция должна быть стойкой к усталостным разрушениям. Жилы часто выполняются из множества тонких проволок.

Конструктивные особенности и материалы

Типичная структура «силового троса»:

- 1) центральный силовой элемент – арамидная нить;
- 2) медные жилы – вокруг силового элемента, часто свитые определенным образом для гибкости;
- 3) изоляция – легкий, прочный и гибкий материал (например, термопластичный полиуретан TPU, термоэластопласт TPE). Он обеспечивает защиту от влаги, абразивного износа и ультрафиолета;
- 4) экран – оплетка из луженой меди;
- 5) внешняя оболочка – износостойкий материал (например, тот же TPU).

Интеграция с БПЛА:

– разъем: необходим надежный, легкий и быстроразъемный коннектор на стороне БПЛА. Он должен быть защищен от вибрации, влаги и самопроизвольного отсоединения;

– система сматывания (лебедка): для мобильных комплексов требуется механизм для удобного хранения и развертывания кабеля, обеспечивающий равномерную намотку без перегибов.

Взаимосвязь и комплексный подход

Проектирование БП и кабеля неразрывно связано. Процесс выглядит как интеграция:

- 1) определяются требования БПЛА: мощность, рабочая высота (длина кабеля);
- 2) выбирается рабочее напряжение (компромисс между сложностью БП/бортового преобразователя и весом кабеля);
- 3) рассчитывается предварительное сечение кабеля, исходя из допустимого падения напряжения и его предполагаемого веса;
- 4) проверяется, способен ли БПЛА с выбранным кабелем обеспечить требуемую высоту и стабильность полета (аэродинамический расчет);
- 5) при необходимости параметры (напряжение, сечение) корректируются.

Пример оптимизации

Для БПЛА с мощностью 1000 Вт и высотой 100 м:

– при 24V ток составит $\sim 41,7$ А. Для минимальных потерь потребуется очень тяжелый кабель (сечение $\sim 6...10$ мм²), который может сделать полет невозможным;

– при 400V ток составит всего 2,5 А. Можно использовать легкий кабель сечением $\sim 0,5...0,75$ мм². Затраты на разработку бортового понижающего преобразователя окупятся выигрышем в летных характеристиках.

Заключение

Проектирование системы питания для привязного БПЛА – это многокритериальная инженерная задача, требующая поиска оптимального баланса между электрическими параметрами, массогабаритными характеристиками и механической надежностью [5].

Современный тренд – это переход на высоковольтные системы (сотни вольт) в сочетании с использованием сверхпрочных и легких композитных материалов для кабеля. Это позволяет достигать больших высот и длительности полета, что расширяет область применения привязных БПЛА в гражданской и оборонной сферах. Успех проекта напрямую зависит от слаженной работы специалистов в области силовой электроники, кабельной техники и аэродинамики.

Список источников

1. Андреев А. М. Автоматизация управления мультироторного беспилотного летательного аппарата с электропитанием по кабелю от наземной станции // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. 2025. № 1–2. С. 123–126.
2. Концепция перспективной системы проводного питания БПЛА на основе анализа существующих систем / В. М. Ксаткин, И. А. Кайсина, А. Е. Кайсин [и др.] // Выставка инноваций – 2021 (весенняя сессия) : сборник материалов XL Научно-технической конференции молодежи АО «ИЭМЗ «Купол» (Ижевск, 23 марта – 22 апреля 2021 года). Ижевск : Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, 2021. С. 80–88.
3. Евтодьева М. Г., Целицкий С. В. Беспилотные летательные аппараты военного назначения: тенденции в сфере разработок и производства // Пути к миру и безопасности. 2019. № 2 (57). С. 104–111.
4. Лубенцов А. В., Ярцева А. А. Реализация проекта привязного беспилотного летательного аппарата на охраняемых объектах // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции (Екатеринбург, 7–17 апреля 2025 года). Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 648–654.
5. Мерзляков А. Р., Лубенцов А. В. Принципы функционирования бесколлекторных двигателей, применяемых в беспилотных воздушных судах // Актуальные проблемы деятельности подразделений уголовно-исполнительной системы : сборник трудов ВНИК. Воронеж : Научная книга, 2024. С. 74–82.