

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Легконогих Д.С.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
г. Воронеж, leg\_ds@mail.ru

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат, электрическая силовая установка, электродвигатель, воздушный винт, энергоэффективность.

Большинство легких беспилотных летательных аппаратов (БЛА) имеют электрические силовые установки (ЭСУ), в состав которых входят электродвигатели (ЭД) с воздушными винтами (ВВ) фиксированного шага, управляемые путем подачи электрического тока от аккумуляторных батарей через контроллеры. Выбор составляющих для ЭСУ является специфической задачей, зачастую в каждом конкретном случае решаемой эмпирическим путем. В конечном итоге, ЭСУ предназначена для создания тяги, необходимой БЛА во всем диапазоне высот и скоростей его применения, имея ограничения по массе и энергопотреблению. Поэтому проводимые исследования направлены на получение и анализ экспериментальных данных с целью оценки влияния параметров основных элементов (ЭД и ВВ) на создаваемую ЭСУ тягу и ее энергоэффективность, под которой понимается отношение тяги к потребляемой мощности.

В статье [1] приведено описание стенда, на котором были получены экспериментальные зависимости (характеристики) для нескольких воздушных винтов с одним электродвигателем, подходящих для применения на малоразмерных БЛА [2]. Испытания проводились в стендовых условиях ( $N = 0$ ,  $M = 0$ ). Выполнено сравнение экспериментальных результатов с расчетными, полученными в программе PropSelector, используемой авиамоделистами для подбора винта к двигателю. Полученные экспериментальные зависимости могут быть использованы для разработки методики формирования технического облика ЭСУ для модернизации существующих и проектирования новых БЛА.

Также проанализированы результаты стендовых испытаний различных ЭСУ, предназначенных для легких БЛА взлетной массой до 100 кг, взятые из открытых источников сети Интернет. Для сравнительной оценки наиболее важной является характеристика энергоэффективности ЭСУ, влияющая на дальность и продолжительность полета БЛА, при условии создания требуемой тяги.

Выполнена оценка влияния на энергоэффективность ЭСУ следующих факторов: размера ВВ (диаметра и шага), номинальной мощности ЭД (модели), параметра  $k_v$ , характеризующего максимальную частоту вращения ЭД на 1 вольт подаваемого на него напряжения.

Из теории ВВ, которые в авиации нашли применение преимущественно с тепловыми двигателями (внутреннего сгорания и газотурбинными), известно, что создаваемая винтом тяга пропорциональна квадрату частоты его вращения и кубу потребляемой от двигателя мощности [3]. Анализ экспериментальных данных для ЭСУ, с одной стороны, подтвердил эти зависимости, а, с другой стороны, выявил ряд особенностей, не присущих силовым установкам с тепловыми двигателями. В целом, с точки зрения энергоэффективности, для малоскоростных БЛА квадрокоптерного и вертолетного типов целесообразно применять ЭД с малыми значениями  $k_v$  и винтами большого диаметра, а для скоростных БЛА самолетного типа – ЭД с большими значениями  $k_v$  и винты меньшего диаметра, позволяющие реализовать большие частоты вращения. При этом имея в виду, что с ростом частоты вращения ВВ возрастает окружная скорость концевых сечений лопастей, что приводит к росту волновых потерь и, как следствие, к снижению КПД винта.

### **Список литературы**

1. Легконогих Д.С., Зеленин А.Н. Разработка стенда для исследования характеристик электрической силовой установки БЛА // Климовские чтения – 2020: Перспективные направления развития авиадвигателестроения: сборник статей НТК. СПб.: Скифия-принт, 2020. 344 с. С. 303-311.
2. Легконогих Д.С. Экспериментальные исследования характеристик электрических силовых установок для легких БЛА // Вестник УГАТУ. 2022. Т. 26, № 1 (95). 135 с. С. 81-91.
3. Теуш В.Л., Сидоров И.А. Общий курс воздушных винтов: учеб. пособие для авиационных втузов. М.: НКАП СССР, 1943. 280 с.

### **Сведения об авторах**

Легконогих Денис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры авиационных двигателей ВУНЦ ВВС «ВВА». Область научных интересов: электрические и гибридные силовые установки беспилотных летательных аппаратов.

### **ELECTRIC POWER PLANTS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES**

Legkonogikh D.S.

Military training and research center of the air force «Air force academy named after prof. N.E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin», Voronezh, Russia, leg\_ds@mail.ru

*Keywords: unmanned aerial vehicle, electric power plant, electric motor, propeller, energy efficiency.*

The results and analysis of experimental studies on the influence of the dimension of propellers, power and models of electric motors on the characteristics of electric power plants intended for use on light unmanned aerial vehicles are presented.