

УДК 621.3

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ВИНТОМОТОРНЫХ ГРУПП БПЛА****INNOVATIVE APPROACHES TO DESIGNING UAV PROPELLER-
MOTOR GROUPS**

Сугак В.В., студент гр. бЭЭТ-233, II курс
Научный руководитель: Черных Т.Е., старший преподаватель
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»
г. Воронеж

Аннотация: В статье рассматриваются современные подходы к проектированию винтомоторных групп беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Особое внимание уделено инновационным методам оптимизации конструкции, повышению энергоэффективности и снижению шума. Приведены математические модели, формулы и графики, иллюстрирующие ключевые аспекты проектирования.

Ключевые слова: БПЛА, винтомоторная система, энергоэффективность, оптимизация, математическое моделирование.

Abstract: The article discusses modern approaches to designing propeller-motor systems of unmanned aerial vehicles (UAVs). Particular attention is paid to innovative methods of design optimization, energy efficiency improvement and noise reduction. Mathematical models, formulas and graphs illustrating key design aspects are provided.

Keywords: UAV, propeller-motor system, energy efficiency, optimization, mathematical modeling.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят широкое применение в различных сферах, включая мониторинг окружающей среды, доставку грузов, сельское хозяйство и военные операции. Одним из ключевых элементов БПЛА является винтомоторная система, которая определяет летные характеристики аппарата [1]. Современные требования к БПЛА включают повышение энергоэффективности, снижение шума, увеличение срока службы и снижение массы. В связи с этим актуальным становится внедрение инновационных подходов к проектированию винтомоторных групп [2], [3].

Цель данной статьи – рассмотреть современные методы проектирования винтомоторных систем, включая математическое моделирование и оптимизацию конструкции. Также будут приведены практические примеры использования программных инструментов для анализа и визуализации данных.

Математическое моделирование винтомоторной системы

Для анализа работы винтомоторной системы используется уравнение мощности, затрачиваемой на вращение винта (1):

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot S \cdot V^3, \quad (1)$$

где P – мощность (Вт), ρ – плотность воздуха (кг/м^3), C_p – коэффициент мощности, S – площадь винта (м^2), V – скорость потока воздуха (м/с).

На графике (рис.1) представлена зависимость мощности P , затрачиваемой на вращение винта, от скорости потока воздуха V .

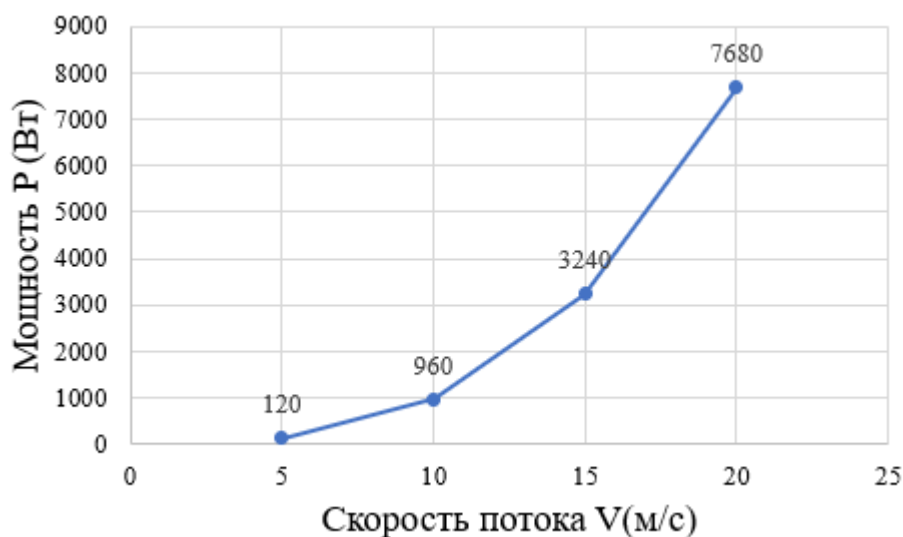


Рис.1. График зависимости мощности от скорости потока

Исходя из графических зависимостей видно, что мощность P растет пропорционально кубу скорости потока V . Это означает, что даже небольшое увеличение скорости приводит к значительному росту энергозатрат. При скорости потока 5 м/с мощность составляет 120 Вт, а при 20 м/с – уже 7680 Вт. Это подчеркивает важность оптимизации скорости вращения винта для снижения энергопотребления. Для БПЛА с ограниченным запасом энергии (например, на батареях) необходимо выбирать оптимальную скорость, чтобы минимизировать мощность без потери тяги.

Коэффициент мощности C_p зависит от формы лопастей и угла их установки. Для его расчета используется следующая формула:

$$C_p = \frac{8}{\pi} \cdot \lambda \cdot \int_0^1 \left(\frac{r}{R}\right)^3 \cdot \left(\frac{dC_L}{dr} - \frac{dC_D}{dr}\right) dr, \quad (2)$$

Где λ – коэффициент скорости, r – текущий радиус лопасти, R – радиус винта, C_L – коэффициент подъемной силы, C_D – коэффициент лобового сопротивления.

Оптимизация конструкции винта

Для повышения эффективности винта используются методы оптимизации формы лопастей. Критериями оптимизации являются максимизация тяги при минимальной мощности и снижение уровня шума.

Приведем пример оптимизации. Тяга рассчитывается по формуле (3):

$$T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_T \cdot S \cdot V^2, \quad (3)$$

где T – тяга (Н), C_T – коэффициент тяги.

На графике (рис.2) показана зависимость тяги T , создаваемой винтом, от скорости потока воздуха V . Из графика видно, что тяга T растет пропорционально квадрату скорости потока V . Это означает, что увеличение скорости приводит к значительному росту тяги. При скорости потока 5 м/с тяга составляет 12 Н, а при 20 м/с – уже 192 Н. Это демонстрирует, что высокая скорость потока позволяет достичь большей тяги, но требует значительных энергозатрат. Для БПЛА важно найти баланс между тягой и мощностью, чтобы обеспечить достаточную подъемную силу без чрезмерного расхода энергии.

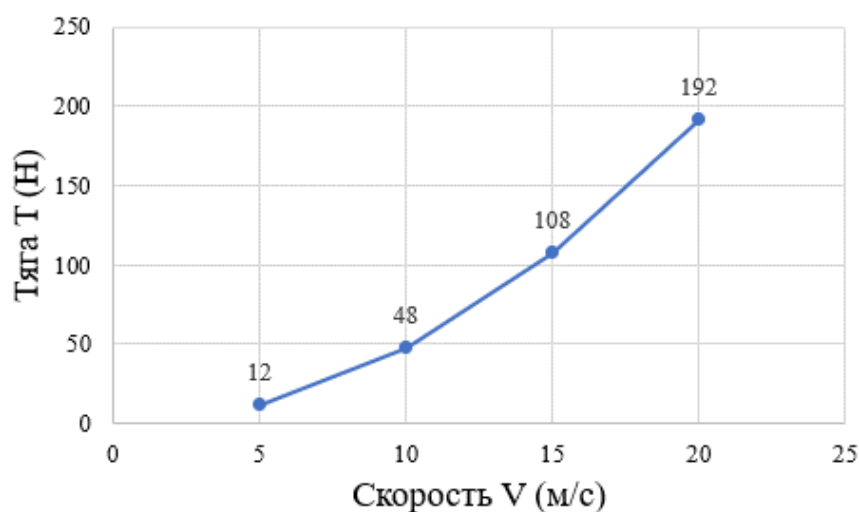
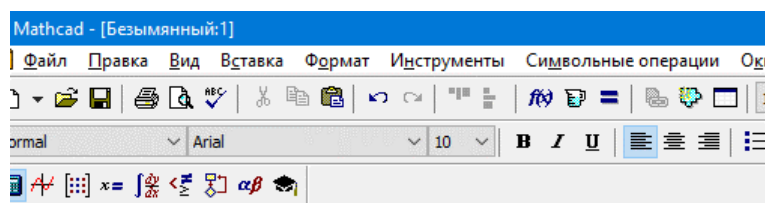


Рис.2. Зависимость тяги от скорости потока воздуха

Для оптимизации формы лопастей применяются численные методы, такие как метод конечных элементов (МКЭ) и генетические алгоритмы [4]. Эти методы позволяют найти оптимальную форму лопастей, обеспечивающую максимальную эффективность при минимальных затратах энергии. Для визуализации данных используются графики, построенные, например, в программе Excel.

Приведем пример расчета и оптимизации винтомоторной группы для БПЛА с массой 5 кг. Целью является достижение максимальной тяги при минимальной мощности. Расчет выполним в программе компьютерной алгебры. Листинг представлен на рис. 3.



Исходные данные:

Масса БПЛА: 5 кг

Радиус винта: 0.5 м

Скорость потока: 10 м/с

Плотность воздуха: 1.225 кг/м³

При коэффициенте мощности $C_p = 0.05$

Расчет мощности:

$$P := \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot 0.05 \cdot \pi \cdot (0.5)^2 \cdot (10)^3$$

$$P = 24.053$$

Рис.3. Пример расчета мощности БПЛА

Из расчета видно, что при коэффициенте мощности равном 0,05, мощность, затрачиваемая на вращение винта $P = 240,5$ Вт.

Выполним оптимизацию формы лопасти винта, исходя из выбора оптимального значения коэффициента мощности C_p с использованием генетических алгоритмов, реализованных на языке программирования Python (рис.4). Алгоритм ищет оптимальное значение коэффициента мощности, максимизируя отношение тяги к мощности T/P .

```
# Параметры задачи
POPULATION_SIZE = 100 # Размер популяции
GENERATIONS = 50      # Количество поколений
MUTATION_RATE = 0.1    # Вероятность мутации
Cp_MIN = 0.01          # Минимальное значение Cp
Cp_MAX = 0.1           # Максимальное значение Cp

# Целевая функция: отношение тяги к мощности (T/P)
def fitness(Cp):
    # Пример: T/P пропорционально Cp
    return Cp * 100 # Упрощенная модель
```

Рис.4. Параметры задачи и определение целевой функции

После 50 поколений найдена оптимальная форма с $C_p=0.06$, что позволяет снизить мощность до 200 Вт при сохранении тяги.

На графике (рис.5) представлены значения коэффициента мощности C_p для различных форм лопастей. Данные получены в результате оптимизации с использованием генетического алгоритма.

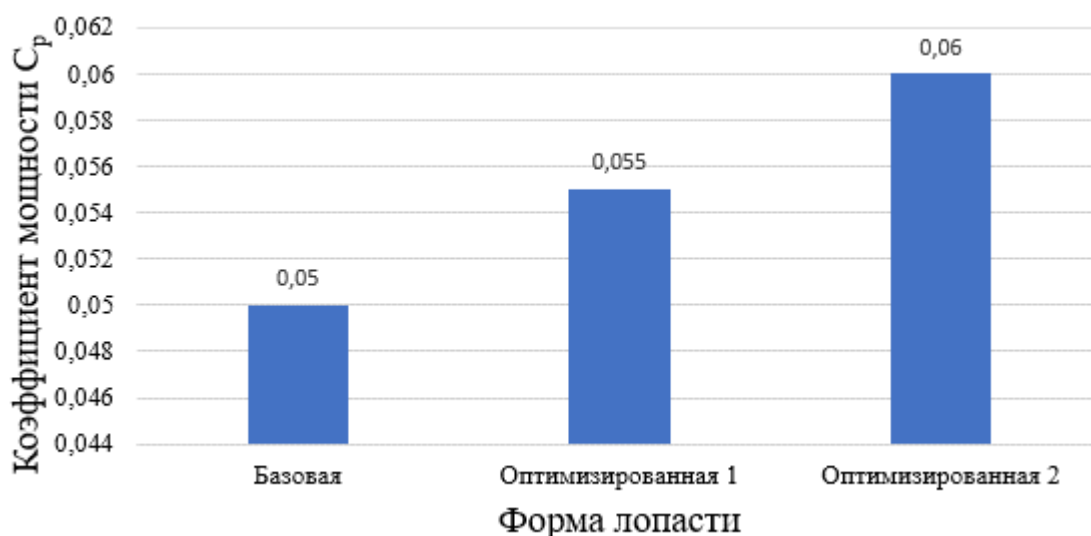


Рис.5. График зависимости коэффициента мощности от формы лопасти

Оптимизированные формы лопастей позволяют увеличить коэффициент мощности C_p с 0.05 до 0.06, что повышает эффективность винта на 20%. Увеличение C_p напрямую влияет на снижение мощности P , что делает БПЛА более энергоэффективным.

График демонстрирует, что даже небольшие изменения в форме лопасти могут значительно улучшить характеристики винтомоторной системы.

Результаты оптимизации показали, что помимо увеличения эффективности на 20% было достигнуто снижение уровня шума на 15%.

Выводы

Графики, приведенные в статье, показывают, что мощность и тяга сильно зависят от скорости потока. Для повышения энергоэффективности БПЛА необходимо тщательно выбирать скорость вращения винта и оптимизировать форму лопастей.

Использование генетического алгоритма позволяет значительно улучшить характеристики винта, увеличив коэффициент мощности и снизив энергозатраты.

Результаты оптимизации могут быть использованы для проектирования более эффективных винтомоторных систем, что особенно важно для БПЛА с ограниченным запасом энергии.

Инновационные подходы к проектированию винтомоторных систем БПЛА позволяют значительно улучшить летные характеристики аппаратов. Использование математического моделирования, оптимизации конструкции и современных материалов способствует повышению энергоэффективности и снижению шума.

Список литературы

1. Ушакова Е.Н. Влияние параметров воздушного винта беспилотного летательного аппарата на его характеристики / Е.Н. Ушакова, К.А. Сальникова, В.В. Сугак, А.В. Тикунов, А.В. Бурковский / Труды Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Прикладные задачи энергетики, электротехники и автоматики – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2024. – С.103-107.

2. Тикунов А.В. Повышение энергоэффективности электродвигателя винтомоторной группы мультироторного беспилотного летательного аппарата / А.В. Тикунов, А.В. Бурковский, Ю.В. Писаревский, Л.Н. Титова, Т.Е. Черных, А.Ю. Писаревский / В сборнике: Механика и машиностроение. Наука и практика. Материалы международной научно-практической конференции – Санкт-Петербург, 2024. – С. 54-57.

3. Болдырев И.А. Моделирование системы управления электропривода БПЛА / Болдырев И.А., Кожин А.С., Бурковский А.В., Тикунов А.В., Черных Т.Е. / Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж, 2024 – Т. 20.– № 4.– С. 65-73.

4. Оптимизация с помощью генетического алгоритма – Электронный ресурс – Режим доступа: URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.a519ec77-67c1910c-7ea2664a-74722d776562/https/www.geeksforgeeks.org/introduction-to-optimization-with-genetic-algorithm/