

## РОЗРАХУНОК МАСОГАБАРИТНИХ ПАРАМЕТРІВ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГООБ'ЄКТІВ

Гриб О. Г., Зуєв А. О.

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"*

*Проведено аналіз існуючих схем безпілотних літальних апаратів. Наведено метод розрахунку масогабаритних параметрів безпілотного літального апарату, призначеного для моніторингу енергооб'єктів.*

**Постановка проблеми.** Під моніторингом розуміється сукупність дистанційних методів вивчення об'єкта, що здійснюються на відстані, без безпосереднього з ним контакту. Інформація про об'єкт зазвичай передається за допомогою електромагнітного випромінювання, і характеризується такими параметрами, як спектральний склад, інтенсивність і напрямок поширення. Зареєструвавши ці параметри, які залежать також від фізичних властивостей і стану об'єкта, а також його просторового положення, можна вивчати його побічно. При цьому одночасна реєстрація випромінювання в декількох спектральних зонах дозволяє отримати найбільш різнобічну характеристику об'єкта.

Основним компонентом системи моніторингу є безпілотні літальні апарати (БПЛА), які представляють собою літальний апарат, політ якого відбувається під контролем або безпосереднім управлінням оператора розташованого в наземному пункті управління, з використанням двосторонніх каналів зв'язку, або за допомогою автопілоту згідно з польотним завданням.

При виборі БПЛА для вирішення завдань моніторингу, найбільш важливими є відмінності в технічних рішеннях різних типів БПЛА. Основними характеристиками апаратів є розмір, вага і форма, які визначають спосіб старту, посадки, вантажопідйомність та характер польоту БПЛА в процесі моніторингу. Для БПЛА літакового типу необхідно визначити способи старту: з рук або з катапульт, і посадки: з парашутом або на корпус.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Типові конструкції малорозмірних БПЛА що застосовуються для моніторингу мають масу до 20 кг. У таких апаратах як двигуна застосовуються трифазні безколекторні електродвигуни постійного струму, які мають високу питому потужність і ККД, високу надійність, простоту управління і можливість роботи в широкому діапазоні оборотів. Для управління двигунами використовуються електронні регулятори, зазвичай виконані на базі мікрокомп'ютера, який здійснює перемикання обмоток двигуна відповідно до завдання від польотного контролера.

Як джерело енергії використовується одна або кілька акумуляторних батарей: LiPo або LiFePo4. При цьому слід зазначити малу питому енергоємність акумуляторів в порівнянні з паливом яке використовується в ДВС великих літальних апаратів (200 Вт · год / кг для LiPo і 11600 Вт · год / кг для бензину), що істотно обмежує польотний час що вимагає застосування значних конструктивних заходів для зниження

маси апарату. В свою чергу це вимагає мініатюризації і мінімізації маси для окремих його агрегатів.

БПЛА з можливістю вільного старту та приземлення, без необхідності аеродромного базування можуть бути класифіковані як:

1) Мультикоптер - найбільш поширена конструкція, до її достоїнств можна віднести можливість зависання і вертикального зльоту та посадки, а також як наслідок, відносну простоту навігації. При цьому сама конструкція нестабільна, вимагає постійного управління польотом. При відмові одного з елементів ГМГ (регулятора або двигуна) в більшості випадків починається неконтрольований політ або падіння, виняток становлять багатороторні системи (6 та більше), для яких можлива реалізація посадки або польоту при відмові одного або, рідше, декількох елементів ГМГ. При цьому більшу кількість гвинтів підвищує стабільність польоту БПЛА. Також слід віднести до недоліків низьку енергетичну ефективність, так як рух апарату і підйомна сила створюється тільки гвинтами. Тривалість польоту: від 15 до 30 хвилин, і значно знижується (до 30%) при активному маневруванні. Наявність потужнострумівих регуляторів для управління двигунами створює значні перешкоди для бортових сенсорів та передавачів що використовуються для управління.

2) Літаюче крило (ЛК) - найбільш проста схема для БПЛА. Управляється за трьома каналами, при цьому має високу енергетичну ефективність і невелику масу, а також висока аеродинамічна якість (яке, однак складно реалізувати) та маневреність [1]. БПЛА такого типу, навіть при невеликому розмірі (розмах крила менше за 1 м) мають тривалість польоту близько 45-60 хвилин (при аналогічному джерелі живлення багатороторний БПЛА має тривалість польоту 15-20 хвилин). При цьому, швидкість польоту ЛК значно вище ніж у багатороторних БПЛА, а наявність лише одного двигуна і великої площі корпусу (крила) дозволяє рознести сенсори та бортове обладнання друг від друга і від джерел перешкод. Що значно знижує вплив перешкод від ГМГ на бортове обладнання. Також слід зазначити, що ЛК як літальний апарат набагато більш стійкий до відмов елементів ГМГ за рахунок можливості планування і практично повної відсутності різких дій, що управляють. З іншого боку меншу кількість високоточних елементів зменшує ймовірність відмови елементів системи. До недоліків такої схеми слід віднести неможливість зависання і вертикального зльоту-посадки, а також нестійкість в польоті викликану обмеженою механізацією крила. Що

накладає певні вимоги і обмеження на розміщення корисного навантаження і балансування апарату.

3) Фюзеляжні БПЛА - літальний апарат літаково-го типу з кермом напрямку і висоти. Зазвичай такий БПЛА є літак з тягнучим або штовхаючим гвинтом виконаний за класичною схемою з хвостовим оперенням, що дозволяє забезпечити хороші злітно-посадочні характеристики, зручність розміщення корисного навантаження і можливість здійснювати стійкий політ навіть в складних метеорологічних умовах [2]. Але для такої схеми слід відзначити і недолік - хвостове оперення створює негативну підйомну силу, що зменшує підйомну силу всього літака, особливо в режимах зльоту і посадки.

Окремо слід відзначити апарати вертолітної схеми в порівнянні з багато роторними БПЛА. Другі відрізняються більш високою стабільністю польоту, відсутністю складної механіки (автомат перекоосу) і хвостової балки, а також загальною простотою конструкції і меншою потужністю елементів ГМГ, що в цілому збільшує надійність апарату. Також певний інтерес представляють гібридні і комбіновані схеми БПЛА які об'єднують в собі можливість вертикального зльоту та посадки, і політ за рахунок підйомної сили крила.

Якщо звернутися до міжнародного досвіду проведення моніторингу енергосистем, то можна відзначити що в більшості розвинених країн з протяжною електроенергетичною інфраструктурою: США і країни ЄС, Китай, РФ, Бразилія, Австралія і Нова Зеландія проводяться заходи з моніторингу та оцінки пропускної здатності мереж, а також заходи щодо підвищення їх пропускної спроможності.

**Мета статті.** Найбільш важливою характеристикою для БПЛА що здійснює моніторинг ЛЕП є тривалість польоту. Від неї безпосередньо залежить ефективність моніторингу: кількість зльотів та посадок, підвищення надійності системи в цілому, більший радіус дії, як наслідок менша кількість БПЛА в системі, а так само зменшення витрат на інфраструктуру і скорочений штат операторів управління. Таким чином, доцільно вибрати параметри БПЛА з метою збільшення тривалості польоту.

**Основні матеріали дослідження.** Ефективність гвинта, яка в режимі висіння залежить тільки від його форми та може бути визначена як

$$E_R = \alpha \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\rho}{F}}, \quad (1)$$

де  $\alpha$  – аеродинамічна якість гвинта;  
 $d$  – діаметр гвинта;  
 $\rho$  – щільність повітря;  
 $F$  – сила тяги.

У режимі висіння, тяга, що створюється гвинтами, дорівнює вазі БПЛА що припадає на один гвинт. Таким чином,  $F$  у виразі (1) є така тяга, яку повинен розвинути один гвинт, щоб утримувати БПЛА в повітрі.

Використовуючи рівняння Менделєєва-Клапейрона можливо отримати щільність повітря через атмосферний тиск і температуру

$$E_R = \alpha \cdot d \cdot k_a \cdot \sqrt{\frac{p}{T \cdot F}}, \quad (2)$$

де  $k_a = \sqrt{\mu/R}$ ;

$p$  – тиск;

$\mu$  – молярна маса повітря;

$R$  – універсальна газова постійна;

$T$  – температура.

З (2) видно, що ефективність гвинта прямо пропорційна коефіцієнту його аеродинамічного якості і діаметру [3].

Вага апарату  $P$  визначається як

$$P = g \cdot (M_0 + M), \quad (3)$$

де  $M$  – маса батареї;

$M_0$  – маса БПЛА;

$g$  – прискорення вільного падіння.

Очевидно, що максимальна ефективність  $E_{Rmax}$  досягається в тому випадку, якщо  $M = 0$ , тобто ефективність тим вище, чим менше маса батареї.

У найпростішому випадку, час польоту (висіння)  $\hat{t}$  може бути розраховане згідно з формулою

$$\hat{t} = \frac{\eta \cdot E}{N}, \quad (4)$$

де  $E$  – запас енергії батареї;

$N$  – потужність силової установки;

$\eta$  – ККД силової установки з урахуванням втрат і ККД двигунів.

Аналіз методик оцінки довго тривалості польоту показує, на практиці найбільш придатною методикою є оцінка через відносну масу та ефективність [4]. Розділимо частини пов'язані з атмосферою та з конструктивними параметрами

$$\hat{t} = \eta \cdot C \cdot \frac{\sqrt{\rho} \cdot \mu \cdot M}{p^{1.5}}, \quad (5)$$

де  $C = \alpha \cdot d \cdot \sqrt{n}$  - конструктивні параметри;

$n$  – кількість гвинтів.

Доцільно змінити (5) щоб виділити параметри що не зв'язані з масою  $B = \eta \cdot \mu \cdot C \cdot \sqrt{\rho}$

$$\hat{t} = \frac{B \cdot M}{[g \cdot (M_0 + M)]^{1.5}}. \quad (6)$$

Тоді, залежність часу висіння від відносної маси батареї  $m = M/M_0$  визначається як

$$t' = m / (1 + m)^{1.5} . \quad (7)$$

Відносна ефективність (якщо прийняти максимальну ефективність за 1) визначається як

$$e = 1 / \sqrt{1 + m} . \quad (8)$$

Залежність відносної ефективності від відносної маси батареї зображена на рис. 1.

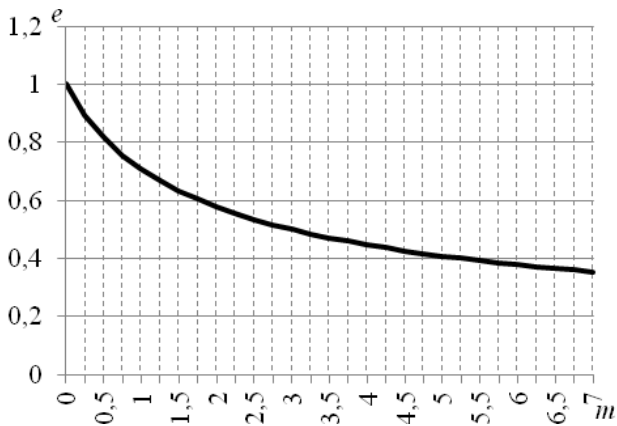


Рисунок 1 – Залежність відносної ефективності від відносної маси батареї

Визначимо найбільш оптимальну, з точки зору тривалості, масу батареї, для чого необхідно знайти максимум функції (7). Похідна звертається в 0, при  $m=2$ , таким чином, маса батареї не повинна перевищувати приблизно 2/3 маси БПЛА.

Отримаємо відносний час польоту  $t = t' / \hat{t}_{\max}$  для чого масштабуємо значення функції (7) прийнявши за максимальний час польоту такий при якому  $m=2$ . Обидва критерії зображені на рис. 2.

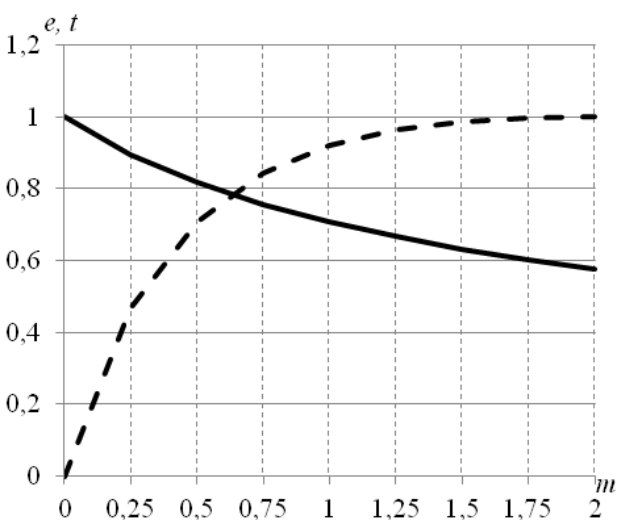


Рисунок 2 – Залежність відносної ефективності і відносного часу польоту (штрихованої лінії) від відносної маси батареї

**Висновки.** З рис.1 видно, що ефективність гвинтів істотно знижується при масі батареї яка відповідає максимальній дальності, і становить приблизно 60% від максимально можливої. Таким чином зменшення маси батареї є раціональним способом щоб підняти ефективність роботи гвинтів.

З рис. 2 оптимальною з точки зору наведених критеріїв ефективності є батарея масою 60-65% від маси БПЛА.

#### Список використаних джерел

1. Биксаев А. Ш. Летательные аппараты нетрадиционных схем / А. Ш.Биксаев, Н. С. Сенюшкин, А. А. Лоскутников, И. И. Салимова // Молодой ученый. – 2013. – № 11. – С. 75-78.
2. Бауэрс П. Летательные аппараты нетрадиционных схем / П. Бауэрс. – М.:Мир, 1991. – 320с.
3. Прицкер Д. М. Аэродинамика / Д. М. Прицкер, Г. И. Сахаров. – М., Машиностроение, 1968. – 310 с.
4. Продолжительность полета электрического беспилотного вертолета. RC Design. 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forum.rcdesign.ru/blogs/174358>.

#### Аннотация

### РАСЧЕТ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

Гриб О. Г., Зуев А. А.

*Проведен анализ существующих схем БПЛА. Приведен метод расчета массогабаритных параметров БПЛА предназначенного для мониторинга энергообъектов. Показано как при помощи критериев относительной массы и эффективности винтомоторной группы, оценить зависимость времени полета от массы источника энергии БПЛА.*

#### Abstract

### DETERMINING THE MASS-DIMENSIONAL PARAMETERS OF UAV FOR MONITORING OF POWER FACILITIES

O. Grib, A. Zuev

*The analysis of the existing UAV layouts is conducted. The calculation method of UAV mass-dimensional parameters intended for monitoring of power facilities is given. It is shown how to estimate the dependence of the flight time on the mass of UAV power source by means of weight fraction and engine-propeller unit efficiency criteria.*