

## ВЛИЯНИЕ НА ИЗБОРА НА ПАРАМЕТРИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МНОГОРОТОРНИ БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ ВЪРХУ ОСНОВНИТЕ ИМ ЛЕТАТЕЛНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Димо Зафиров<sup>1</sup>, Ванг Бо<sup>2</sup>, Петър Гецов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

<sup>2</sup>Нингбо Технологичен Институт

e-mail: zafirov@space.bas.bg; bo305@hotmail.com; getsovp@mail.space.bas.bg

**Ключови думи:** параметри, многороторни безпилотни летателни апарати, летателни характеристики

**Резюме:** Разгледан е алгоритъм за определяне на параметрите при концептуалното проектиране на електрически многороторни безпилотни летателни апарати при зададени основни летателни характеристики

## IMPACT OF THE CHOICE OF PARAMETERS ON AN ELECTRIC MULTI-ROTOR UNMANNED AERIAL VEHICLES ON THEIR MAIN FLIGHT CHARACTERISTICS

Dimo Zafirov<sup>1</sup>, Wang Bo<sup>2</sup>, Petar Getsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Space Research and Technology – Bulgarian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Ningbo University of Technology

e-mail: zafirov@space.bas.bg; getsovp@mail.space.bas.bg

**Keywords:** parameters, multi - rotor unmanned aerial vehicles, flight characteristics

**Abstract:** An algorithm for determining the parameters in the conceptual design of electric multi-rotor unmanned aerial vehicles with given their main flight characteristics is considered

Свидетели сме на бързото развитие на електрическите многороторни летателни апарати (еБЛА) и използването им в различни области на икономиката [1, 2]. В повечето случаи не се използват стандартни решения, а се налага да се изпълняват специализирани поръчки със съответно проектиране.

При концептуалното проектиране на електрически многороторни летателни апарати (еБЛА) се определят основните им параметри, в зависимост от изискваните в Началното задание характеристики [3]. Често, по различни причини, това не могат да бъдат оптимални параметри и затова се приемат рационални параметри, които гарантират най-добри летателни характеристики.

Концептуалният математически модел на еБЛА дава зависимостите на летателните му характеристики от основните параметри [3, 4]:

$$(1) \quad m = m_b + m_{bat} + m_e + m_p + m_a + m_{ae} + m_{pl}$$

$$(2) \quad \bar{m}_b + \bar{m}_{bat} + \bar{m}_e + \bar{m}_p + \bar{m}_a + \bar{m}_{ae} + \bar{m}_{pl} = 1$$

$$(3) \quad m = m_{pl} / \bar{m}_{pl}$$

$$(4) \quad T = gm$$

- (5)  $P = \frac{T}{T_{prop}}$
- (6)  $E_n = P t_h$
- (7)  $E_a = \bar{E}_{bat} m$
- (8)  $E_n \geq 1,04 E_a$
- (9)  $m_{bat} = \frac{E_n}{\bar{E}_{bat}}$
- (10)  $m_a \leq m - m_{bat} - m_{pl} = m_b + m_e + m_p + m_a + m_{ae} ,$

където:

$m_{pl}$  – маса на полезния товар

$t_h$  – време на полета в режим на висене

$R_{max}$  – максимален радиус на полета

$\bar{m}_{bat}$  – относителна маса на батериите

$\bar{m}_b$  – относителна маса на тялото

$\bar{m}_p$  – относителна маса на двигателите

$\bar{m}_e$  – относителна маса на електрическата система

$\bar{m}_a$  – относителна маса на авиониката

$\bar{m}_{pl}$  – относителна маса на полезния товар

$\bar{m}_{ae}$  – относителна маса на други елементи

$T_{prop}$  – специфична тяга на двигателите

$T_{prop}$  – тяга на двигателя

$P$  – мощност на двигателя

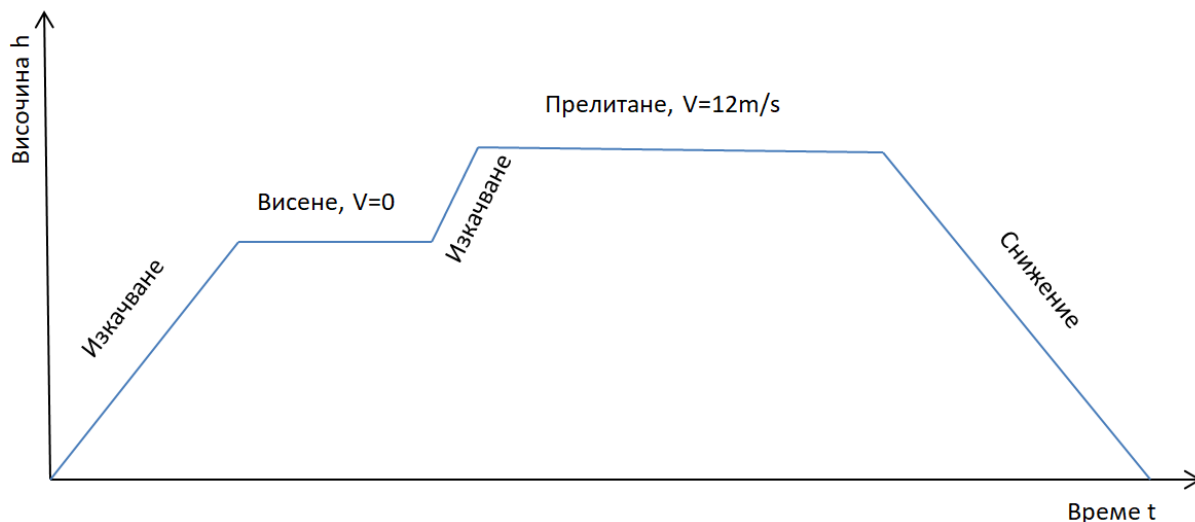
$\bar{E}_{bat}$  – специфична енергия на батериите

$E_n$  – потребна енергия за изпълнение на мисията

$E_a$  – разполагаема енергия в батериите

При концептуалното проектиране на електрически многооторни еБЛА (коптери) може да се работи по следния алгоритъм:

В началните изисквания се задават основните параметри на една, най-често изпълнявана от проектирания БЛА стандартна мисия (фиг. 1):



Фиг. 1. Стандартна мисия

- маса на полезния товар;
- времена, височини, скорости и разстояния на различните режими на полета;
- резервна енергия.

По статистически данни за проектирания клас коптери се определят в първо приближение:

- излетната маса  $m'$ , като процент от  $m_{pl}$ ;

- броят на двигателите  $N_p$ ;
- специфична енергия на използваните батерии  $\bar{E}$ ;

Пресмята се работна тяга  $T_p$  на един двигател за различните режими на полета.

Избира се тип и марка на двигател с максимална специфична тяга  $\bar{T}_{max}$  за работните обороти. От спецификацията на този двигател се определят необходимото напрежение  $V$  на батериите, работната сила  $A$  на тока и потребната електрическа мощност  $P_n$ .

Пресмята се потребната за изпълнението на мисията енергия  $E_n$ :

$$(11) \quad E_n = N_p \sum P_{n_i} t_i$$

Пресмята се разполагаемата енергия, която трябва да осигурят батериите за сигурно изпълнение на мисията:

$$(12) \quad E_a = E_n + E_r,$$

като резервната енергия  $E_r$  се определя при планиране на полета.

Определя се в първо приближение и масата на батериите:

$$(13) \quad m_{bat} = \frac{E_a}{\bar{E}}.$$

Избират се батерии, които могат да осигурят потребната за мисията енергия.

Осигуряването на висока степен на надеждност и безопасност на еБЛА, особено за тези, които изпълняват мисии в градски условия, изисква използването на парашути, двигатели и сензори, което увеличава излетната им маса и изискванията към софтуера и хардуера. За постигането на определена степен на надеждност и сигурност организацията JARUS е създавала документи "Specific Operations Risk Assessment" SORA [5], които се основават на методики, използвани в пилотираната авиация [6, 7]

По предложени алгоритъм беше проектиран, изработен и изпитан прототип на многороторен еБЛА по проект финансиран от Националния иновационен фонд **9ИФ-02-4/28.11.2018 „Иновативен дрон с удължено полетно време и височинен обхват“**.

Изискванията на Началното (изходното) задание, за които беше изпитван продукта бяха (Таблица 1):

Таблица 1

Изискване	Мярка	Стойност
1.1. Максимална дистанция на устойчива видеовръзка с наземната станция за управление (при пряка видимост) над	km	15
1.2. Максимално време на полета с 2 kg полезен товар над	min	60
1.3. Максимална скорост на полета не по-малка от	km/h	50
1.4. Маса на полезния товар над	kg	2
1.5. Максимална излетна маса не по-голяма от	kg	25
1.6. Статичен таван на полета над	m	3 000
1.7. БАС да може да се превозва в лек автомобил		

Резултатите от направените изпитвания показаха, че всички изисквания на заданието са изпълнени.

### Заклучение

В процеса на концептуалното проектиране се определят основните параметри, които оказват значително влияние върху летателните характеристики на многороторни еБЛА. При изпълнение на различни мисии са важни различни характеристики, респективно и различни основни параметри, което налага е БЛА да се проектират и произвеждат в малки серии или единично за всяка конкретна поръчка.

## Благодарности

Направеното изследване, описано в тази статия, е за проект по Договор КП-06-Китай/3 от 20.12.2018 „Разработване на нисколетаща платформа на базата на безпилотни летателни апарати с цел изграждане на интелигентна транспортна система в градовете“, финансиран от Фонд научни изследвания към Министерството на образованието и науката на Република България.

## Литература:

1. Nawaz, H., Ali, H.M. y Massan, S.U.R. (2019). Applications of unmanned aerial vehicles: a review. 3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme. Edición Especial, Noviembre 2019, 85–105. doi: <http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno.2019.specialissue3>. pp. 85-105.
2. Загорски, Н. Развитие на авиацията с общо предназначение и бизнес авиацията – устойчиво бъдеще за въздушния транспорт в Европейския съюз, Международна научна конференция Хемус-2012 „Решения и технологии за интелигентна отбрана“, 31.05.-01.06.2012 г., гр. Пловдив
3. Зафиров, Д. Проектиране на летателните апарати. (Концептуален подход). ISBN: 978-954-8932-68-4, Автоспектър, Пловдив, 2014
4. Гецов, П. Ванг Бо, Светослав Забунов, Гара Мардиросян. Иновации в областта на безпилотни летателни апарати, Aerospace Research in Bulgaria, p-ISSN 1313-0927, 29, 2017, pp. 111–119.
5. [http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar\\_doc\\_6\\_sora\\_sts\\_02\\_edition1.0.pdf](http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar_doc_6_sora_sts_02_edition1.0.pdf)
6. Загорски, Н., Приблизени модели за оптимизация на параметрите за експлоатация и техническо обслужване на авиационните системи с оценка на точността и достоверността на получаваните резултати, Международна научна конференция „Техника, технологии и системи“ ТЕХСИС 2009, Технически университет – София, филиал Пловдив, 29-30 май 2009 г., Journal of the Technical University – Sofia, Plovdiv Branch, Bulgaria Vol. 14 (2) 2009, стр. 359–364.
7. Petrov, N., Sv. Asenov, D. Ginchev, N. Zagorski, An. Chozhgova, Assessment of the rate of increase of the legally defined technical resources to the aviation system, International J. of Math. Sci. & Engg. Appls. (IJMSEA), Vol. 7 No. VI (November, 2013).