



PREVÁDZKOVÁ BEZPEČNOSŤ BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV S ELEKTRICKÝM POHONOM

Lukáš Kalafut
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Branislav Kandra
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The increasing adoption of electrically powered unmanned aerial vehicles (UAVs) has raised concerns about their operational safety, particularly with regards to battery technology. Lithium-based batteries, commonly used in UAVs, pose unique safety challenges due to their potential for thermal runaway, overcharging, and physical damage. The aim of this paper is to investigate the operational safety of electrically powered UAVs, with a particular focus on their battery systems. Theoretical part discusses basic types of UAVs, their electric propulsion system and the different types of batteries used in UAVs, in particular their advantages and disadvantages as well as their composition. Then, the paper also briefly explores and introduces BMS technology and its functions. In the last section of this paper, we look at the principles and practices of proper battery handling.

Keywords

UAVs, batteries, electric propulsion system, BMS

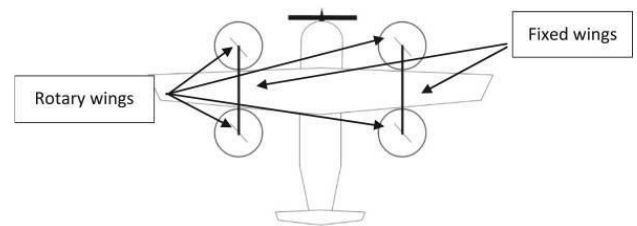
1. Úvod

Elektricky poháňané bezpilotné prostriedky sa vďaka svojej všestrannosti a možnostiam využitia stali nenahraditeľnými nástrojmi v rôznych odvetviach, od poľnohospodárstva až po záchranné služby. Hlavným prvkom efektívnej a bezpečnej prevádzky týchto bezpilotných prostriedkov sú ich batérie, najmä lítiové batérie, ktoré tieto bezpilotné prostriedky poháňajú. Používanie batérií v bezpilotných prostriedkoch však predstavuje osobitné bezpečnostné výzvy vrátane tepelného úniku, prebývania a skratov, ktoré môžu viesť k nebezpečným situáciám, ako sú požiare a výbuchy. Na riešenie týchto výziev a zvýšenie prevádzkovej bezpečnosti sa stala kľúčovou integrácia pokročilých systémov riadenia batérií (BMS) do konštrukcií bezpilotných prostriedkov.

2. Typy UAV

UAV možno rozdeliť na tri základné typy – s pevnými nosnými plochami, s rotorovými nosnými plochami alebo ich kombinácia. Bepilotné prostriedky s pevnými nosnými plochami v porovnaní s rotorovými variantmi majú oveľa jednoduchšiu konštrukciu, čo uľahčuje ich údržbu a zefektívňuje aerodynamické vlastnosti. V dôsledku toho sa znižujú prevádzkové náklady a predlžuje sa čas ich letu. Nevýhodou tohto typu však je, že na vzlet a pristátie potrebuje vzletovú dráhu - nedokáže sa vznášať ako typ s rotorovými nosnými plochami. Takisto sú väčšie a objemnejšie ako typ s rotorovými nosnými plochami. UAV s rotorovými nosnými plochami sú na druhú stranu bežnejším typom, pretože môžu vzlietnuť a pristáť vertikálne, čím odpadá potreba pristávacej dráhy. Môžu sa tiež vznášať a sú veľmi obratné, takže sú ideálne tam, kde sa vyžaduje presnejšie manévrowanie s daným prostriedkom. Avšak, tieto druhy bezpilotných prostriedkov si vyžadujú zložitejšiu údržbu kvôli ich komplexným mechanickým a elektronickým požiadavkám. Posledným typom je tzv. Hybrid. Tento typ s kombinovanými nosnými plochami kombinuje to

najlepšie z oboch predošlých typov – manévrovateľnosť a stabilitu z rotorového typu a dlhý dolet z typu s pevnými nosnými plochami. [1]



Obrázok 1. Hybrid

2.1. Elektrický pohonný systém pre UAV

Elektrický pohonný systém v bezpilotných prostriedkoch zohráva kľúčovú úlohu pri premene elektrickej energie na mechanickú, ktorá umožňuje let. Tento systém zvyčajne pozostáva z komponentov, ako sú elektromotory, zdroje energie (napríklad batérie, palivové články, solárne panely), elektronické regulátory otáčok a systémy riadenia energie. V stručnosti si zhrnieme jeho výhody a nevýhody.

Výhody elektrického pohonného systému: [2]

- šetrnosť k životnému prostrediu,
- konštrukčná univerzálnosť,
- väčšie množstvo zdrojov energie,
- minimálny hluk.

Nevýhody elektrického pohonného systému: [2]

- vysoké náklady,
- nedostatočná prispôboivosť prostrediu.

2.1.1. Batérie

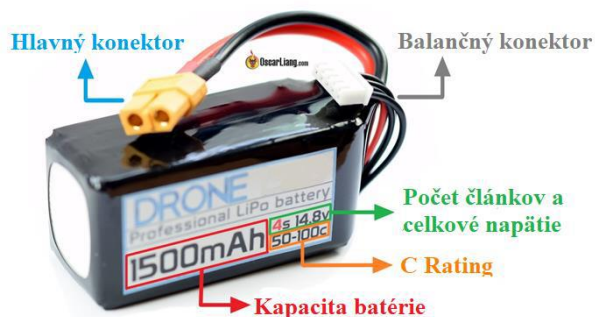
Batérie v bezpilotných prostriedkoch slúžia ako primárny zdroj energie, pričom poskytujú energiu potrebnú na pohon a preávdzku. Sú definované mernou hustotou výkonu a energetickou hustotou, čo sú dva kľúčové parametre batérií.

Hustota energie alebo energetická hustota sa vzťahuje na množstvo energie, ktoré možno uskladniť v danom objeme alebo hmotnosti batérie, zvyčajne sa meria vo wattodinách na liter (Wh/L) alebo vo wattodinách na kilogram (Wh/kg). Vyššia hustota energie znamená, že batéria dokáže uskladniť viac energie, čo je dôležité pre prípady, kde sú priestor a hmotnosť obmedzujúcimi faktormi, napríklad v bezpilotných prostriedkoch, kde je rozhodujúca maximalizácia času letu. [3]

Na druhej strane, *merná hustota výkonu* sa vzťahuje na rýchlosť, akou možno dodať alebo získať energiu z batérie, meranú vo wattoch na liter (W/L) alebo wattoch na kilogram (W/kg). Vyššia merná hustota výkonu je rozhodujúca pre prípady, ktoré si vyžadujú rýchle dodávky energie, ako napríklad v bezpilotných prostriedkoch počas zrýchľovania alebo manévrov. [3]

Kľúčové špecifikácie batérií: [4]

- kapacita - kapacita batérie UAV sa vzťahuje na množstvo elektrickej energie, ktorú batéria dokáže uskladniť a dodať, zvyčajne sa meria v miliampérhodinách (mAh) alebo ampérhodinách (Ah). Akumulátor s vyššou kapacitou dokáže uskladniť viac energie, čo umožňuje dlhšiu prevádzku dronu na jedno nabitie. Konkrétna potrebná kapacita závisí od konštrukcie, veľkosti, hmotnosti a zamýšľaného použitia dronu,
- napätie - napätie batérie je rozhodujúce pre výkon dronu. Batérie s vyšším napätím roztáčajú motor pri vyšších otáčkach a bývajú účinnejšie, ale aj ťažšie.
- rýchlosť vybíjania (C Rating) - rýchlosť vybíjania, známa aj ako C Rating, udáva maximálny prúd, ktorý môže batéria dodávať bez toho, aby sa poškodila. Vyšší C Rating ponúka lepší výkon a umožňuje motorom produkovať maximálny výkon pre dron v rozumnom a bezpečnom rozsahu,
- počet článkov - počet článkov v batériách je uvádzaný napríklad ako 4S1P alebo len 4S. Číselné označenie uvádza počet článkov a označenie písmenom uvádza či sú zapojené do série (S) alebo paralelne (P).



Obrázok 2. Špecifikácie batérie

V bezpilotných prostriedkoch sa používajú rôzne typy batérií, pričom každá z nich má svoje výhody a nevýhody. Patria medzi

ne napríklad: Olovené (Lead-acid), Nikel-Kadmiové (NiCd), Nikel-Metal Hydridové (NiMH), Lítium-polymérové (LiPo) a Lítium-iónové (Li-ion). Najrozšírenejšími batériami používanými v bezpilotných prostriedkoch sú v súčasnosti LiPo a Li-ion.

Nikel-Kadmiové batérie (NiCd)

V nikel-kadmiovej batérii (NiCd) sa ako kladná elektróda (anóda) používa hydroxid nikelnatý a kadmium ako záporná elektróda (katóda). Elektrolytom je hydroxid draselný. Medzi dobíjateľnými batériami je NiCd obľúbenou voľbou, ale obsahuje toxické kovy. NiCd batérie sa vo všeobecnosti používajú tam, kde je dlhá životnosť a vysoká rýchlosť vybíjania. [5]

Výhody NiCd batérií: [6]

- poskytujú vysoký výstupný prúd,
- relatívne tolerantné voči prebíjaniu,
- dlhá životnosť,
- odolnosť.

Nevýhody NiCd batérií: [6]

- pamäťový efekt, pri ktorom batéria postupne stráca kapacitu, ak sa opakovane nabíja pred úplným vybitím,
- obsahujú materiály škodlivé pre životné prostredie, ako je kadmium, čo si vyžaduje osobitné zaobchádzanie a likvidáciu.

Nikel-Metal Hydridové batérie (NiMH)

V Nikel-Metal Hydridovej batérii (NiMH) sa namiesto kadmia používa na zápornej elektróde (katóde) zliatina absorbujúca vodík. Kladnú elektródu (anódu) tvorí rovnako ako v NiCd článkoch hydroxid nikelnatý. NiMH má vysokú energetickú hustotu a používa kovy šetrné k životnému prostrediu. Batéria NiMH ponúka až o 40 % vyššiu energetickú hustotu v porovnaní s NiCd. NiMH batérie začali postupne nahrádzať NiCd batérie. Bolo to spôsobené obavami o životné prostredie, ktoré sa týkajú likvidácie použitých batérií, ako aj z dôvodu vyššej hustoty energie. [5]

Výhody NiMH batérií: [6]

- vyššia kapacita v porovnaní s NiCd batériami, poskytuje približne o 30 % vyššiu kapacitu,
- menej náchylné na pamäťový efekt ako NiCd batérie,
- šetrnosť k životnému prostrediu s menším množstvom toxických kovov

Nevýhody NiMH batérií: [6]

- vysoká miera samovoľného vybíjania
- citlivosť na extrémne teploty

Lítium-iónové batérie (Li-ion)

Lítium-iónová batéria je dobíjateľná batéria, ktorú možno viacnásobne nabíjať ako zdroj energie pre elektronické

zariadenia a elektrické prostriedky. Zvyčajne používajú grafitovú anódu a katódu z kobaltátu lítneho (LiCoO₂) alebo z manganistanu lítneho (LiMn₂O₄). Elektrolytom je lítiová soľ v organickom rozpúšťadle. Všetky tieto materiály sú relatívne šetrné k životnému prostrediu.

Výhody Li-ion batérií: [7]

- dlhá životnosť,
- vysoká energetická hustota,
- nemajú pamäťový efekt,
- malá hmotnosť.

Nevýhody Li-ion batérií: [7]

- citlivosť na extrémne teploty,
- cena v porovnaní s ostatnými batériami.

Lítium-polymérové batérie (LiPo)

LiPo batéria podobne ako Li-ion používa katódu na báze lítia (LiCoO₂ alebo LiMn₂O₄) a grafitovú anódu. Elektródy medzi sebou sú oddelené polymérovým elektrolytom. Všetky LiPo batérie používajú ako elektrolyt gélový polymér s vysokou vodivosťou.

Výhody LiPo batérií: [8]

- vysoká energetická hustota,
- nízka schopnosť samovoľného vybíjania,
- hmotnosť,
- flexibilita - akumulátory LiPo sa dajú vyrobiť v rôznych tvaroch a veľkostiach,
- pri svojej veľkosti majú pomerne veľkú kapacitu,
- nemajú pamäťový efekt.

Nevýhody LiPo batérií: [8]

- kratšia životnosť,
- sú citlivé na podmienky nabíjania a v prípade prebitia môžu viesť k tepelnému vyčerpaniu, ktoré môže spôsobiť požiar alebo iné bezpečnostné riziká,
- citlivosť na extrémne teploty,
- cena.

3. Systém riadenia batérie (BMS)

Systém riadenia batérie (BMS) v bezpilotných prostriedkoch zohráva kľúčovú úlohu pri zabezpečovaní bezpečnej a efektívnej prevádzky UAV. Systém BMS je dôležitý komponent, ktorý monitoruje a kontroluje stav nabitia, zdravotný stav a ďalšie parametre batérie, aby sa zabránilo jej prebíjaniu, nadmernému vybíjaniu a prehriatiu. BMS tiež pomáha predĺžiť životnosť batérie optimalizáciou jej používania a predchádzaním hlbokému vybitiu. [9]

BMS v UAV je zvyčajne založený na algoritmoch strojového učenia, ktoré predpovedajú stav nabitia a zdravotný stav batérie na základe napätia a prúdu batérie, ako aj teploty okolia. To umožňuje monitorovať a kontrolovať výkon batérie v reálnom čase, čo umožňuje bezpečnú a efektívnu prevádzku. [9]

Systém BMS zahŕňa aj funkcie, ako napríklad: [9]

- monitorovanie napätia a prúdu,
- monitorovanie teploty,
- odhad stavu nabitia a zdravotného stavu,
- ochrana proti nadmernému nabitiu a vybitiu,
- tepelné riadenie,
- detekcia a hlásenie porúch.

Systém BMS je zvyčajne integrovaný so systémom riadenia letu UAV a môže pilotovi operátorovi poskytovať údaje v reálnom čase, čo im umožňuje prijímať informované rozhodnutia o prevádzke UAV.

4. Zásady a postupy správneho zaobchádzania s batériami

Ako už bolo v tejto práci zmienené, na pohon UAV sa najčastejšie používajú lítiové batérie, ktorých výhody ale aj nevýhody sme si predstavili. Pri práci s nimi postupujeme podľa istých postupov. Napríklad, skladujeme ich na chladnom a suchom mieste mimo horľavých materiálov a zabezpečíme, aby neboli fyzicky poškodené. Vykonávame pravidelné kontroly s cieľom zistiť, či sa na batérii nevyskytujú známky opotrebovania, poškodenia alebo nafúknutia. Používame len kompatibilné nabíjačky schválené výrobcom a dodržiavame pokyny stanovené výrobcom pre nabíjacie cykly a postupy. Vyhýbame sa extrémnym teplotám počas skladovania a prevádzky, aby sa zabránilo tepelnému úniku, a tým pádom prípadnému vzniku požiaru. Batérie nikdy nenechávame bez dozoru počas nabíjania. Takisto sa snažíme vyhýbať prebíjaniu a nedostatočnému nabíjaniu. Pri skladovaní a nabíjaní využívať tzv. LiPo safe bags alebo oceľové boxy ako napr. BAT-SAFE box, aby sa predišlo prípadným problémom. [10]

5. Záver

Na záver možno konštatovať, že prevádzková bezpečnosť bezpilotných prostriedkov s elektrickým pohonom týkajúca sa hlavne ich batérií je kritickým aspektom, ktorý si vyžaduje dôkladnú pozornosť a neustále zlepšovanie. Pochopením obmedzení, potenciálnych rizík spojených s batériami UAV a správnym zaobchádzaním s nimi môžeme pripraviť pôdu pre zvýšenie bezpečnosti v tomto smere.

Referencie

- [1] TOWNSEND, A.; JIYA, I.N.; MARTINSON. Ch.; BESSARABOV D a GOUWS R. (2020). A comprehensive review of energy sources for unmanned aerial vehicles, their shortfalls and opportunities for improvements. [Online]. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7672221/#bib16>

- [2] CHUNHUA, L.; ZHANG, B.; SONG, Z. a ZHAO, F. (2022). Overview of Propulsion Systems for Unmanned Aerial Vehicles. [Online]. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/2/455>
- [3] POLINOVEL. (bez dáta). [www.polinovelgroup,“ Energy Density vs Power Density: What’s Their Differences?](http://www.polinovelgroup.com/energy-density-vs-power-density-differences/) [Online]. Dostupné na: <https://www.polinovelgroup.com/energy-density-vs-power-density-differences/>
- [4] LIANG, Oscar. (2023). Using LiPo Batteries for FPV Drones: A Beginner’s Guide with Top Product Recommendations. [Online]. Dostupné na: <https://oscarliang.com/lipo-battery-guide/#Cell-Count>
- [5] GERIN FAHLSTROM, P. a JAMES GLEASON, T. (2012). Introduction to UAV Systems. New Jersey: John Wiley & Sons.
- [6] ELECTRICITY – MAGNETISM. (bez dáta). www.electricity-magnetism.org, [Online]. Dostupné na: <https://www.electricity-magnetism.org/electric-battery/advantages-and-disadvantages-of-nickel-cadmium-batteries/>
- [7] BLACKRIDGE (2024). „www.blackridgeresearch.com,“ What is a Lithium-ion Battery? What are the Types of Lithium-ion Batteries? [Online]. Dostupné na: <https://www.blackridgeresearch.com/blog/what-is-a-lithium-ion-battery-what-are-the-types-of-lithium-ion-battery-chemistries#what-is-a-lithium-ion-battery?>
- [8] LESLEY, James. (bez dáta). Which Is Better Lipo Or Li Ion Battery For Drone? [Online]. Dostupné na: <https://dronesurveyservices.com/lipo-or-li-ion-battery-for-drone/>
- [9] JIOA, Shiqin; ZHANG, Guiyang; ZHOU, Mei a LI, Guoqi. (2023). A Comprehensive Review of Research Hotspots on Battery Management Systems for UAVs. [Online]. Dostupné na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10208231/references#references>
- [10] VOLATUS DRONES (2024). „www.volatusdrones.ca,“ Battery Safety Tips for Drone Owners. [Online]. Dostupné na: <https://volatusdrones.ca/blogs/news/battery-safety-tips-for-drone-owners>