

Тенденції застосування літій-іонних акумуляторів у літальних апаратах

Проаналізовано існуючі технології виготовлення літій-іонних акумуляторів з точки зору перспективи їх застосування в літальних апаратах. Увагу приділено найважливішим характеристикам акумуляторів, а саме питомій енергії та потужності, терміну експлуатації та безпечності.

За останнє десятиліття літій-іонні акумулятори стають основним джерелом живлення літальних апаратів. Їх застосовують у системах резервного живлення авіоніки, аварійного освітлення, живлення допоміжного обладнання (телефони в кабіні екіпажу, двері в кабіні), безперебійного живлення і запуску двигунів винищувачів та дронів. Незважаючи на те, що літій-іонна технологія пропонує перспективу легших акумуляторів, ще існують значні проблеми щодо використання літій-іонних акумуляторів для літаків. Ці проблеми включають підвищену загрозу безпеці та вищу вартість порівняно з традиційними технологіями. Таким питанням слід приділяти особливу увагу під час вибору акумуляторної технології для конкретного літака. Тому ця робота присвячена аналізу існуючих типів літій-іонних акумуляторів з метою вибору оптимального варіанту для застосування в літальних апаратах.

Натепер використовують різні технології виготовлення літій-іонних акумуляторів, що різняться експлуатаційними характеристиками, пов'язаними з питомою енергією, потужністю, безпекою та тривалістю роботи. Літій-іонні акумулятори забезпечують вищий рівень енергії та довший термін служби за меншої ваги та меншого об'єму, ніж свинцево-кислотні та нікель-кадмієві акумулятори. Забезпечуючи виняткову потужність завдяки вищій номінальній напрузі 3,7 В, вони працюють у діапазоні температур від -30°C до $+60^{\circ}\text{C}$ і мають сприятливий термін зберігання завдяки низькому саморозряду (табл. 1).

Таблиця 1.

Порівняння технічних характеристик акумуляторів різного типу

Характеристика	Літій-іонні	Свинцево-кислотні	Нікель-кадмієві
Напруга комірки (В)	3,7	2	1,8
Питома енергія (Вт год/л)	200	50	35
Глибина розряду (%)	80–90	70–80	100
Кількість циклів	1000–5000	500–2000	> 10000
Термін експлуатації (роки)	8–10	2–4	5–10
Середня вага, кг	23,5	41,7	36,3
Обслуговування	кожні 2 роки	Щорічно	200–400 годин
Кількість за 5-річний термін	1	2,86	2,86

Питома енергія літій-іонних акумуляторів залежить від типу катоду та складових анодних матеріалів, а також від їх нано- та мікроструктури. Сучасні комерційні літій-іонні акумулятори мають широкий діапазон значень питомої енергії, приблизно від 90 до 250 Вт·год/кг. Максимальна потужність літій-іонних акумуляторів залежить від напруги, ширини проміжного шару твердого електроліту, коефіцієнтів дифузії компонентів електродів і їх провідності.

В табл. 2 узагальнені основні характеристики комерційних літій-іонних акумуляторів [2,3]. Першими в авіації були використані літій-кобальт оксидні (LCO) акумулятори, які мали за катод сполуку LiCoO_2 і за анод графіт С6. Висока питома енергія (150–190 Вт·год/кг) і технологічна завершеність дозволили застосування акумуляторів LCO для забезпечення допоміжного запуску та резервного живлення під час польоту літаків Boeing 787 Dreamliner. Однак, вихід з ладу акумуляторів, в тому числі через тепловий розгін вже за температури 150°C, викликав серйозні занепокоєння та привів до заборони польотів всіх аварійних літаків. Тому авіаційна галузь нині не зацікавлена у використанні акумуляторів LCO через небезпеку та відносно короткий термін служби.

Таблиця 2.

Характеристики різних типів літій-іонних акумуляторів

Тип	Питома мність, мА/	Номінальна напруга, В	Питома енергія, Вт/кг	Цикли	Властивості
LCO	140	3,7	110–190	500–1000	Безпеківі проблеми, тривалий термін роботи
LFP	170	3,3	90–115	>3000	Тривалий термін роботи, стабільність, низька вартість
NCA	180	3,6	100–150	2000–3000	Тривалий термін роботи, висока вартість
NMC	145	3,6	100–170	2000–3000	Тривалий термін роботи, відносно низька вартість

Проблеми з безпекою літій-іонних акумуляторів викликані тим, що вони містять літій, кисень і легкозаймистий електроліт. Найбільша небезпека пов'язана з тепловим розгоном: якщо акумулятор перегрітий через тривалу перезарядку чи коротке замикання до початку розкладання оксиду металу, то акумулятор може вибухнути внаслідок реакції між вільним киснем і літїєм. Проте деякі акумулятори є більш безпечними, ніж інші. Наприклад, літій-залізо-фосфатні (LFP) акумулятори є більш безпечними, ніж акумулятори LCO, оскільки вони термічно стабільніші (розкладання за більш високих температур). Акумулятори LFP містять катод з LiFePO_4 та анод, виконаний найчастіше з

графіту. Ці акумулятори були визнані як перспективні пристрої завдяки тривалому терміну експлуатації, безпеці і екологічності. Сучасні акумулятори LFP витримують до 2000 повних циклів, хоча можлива і більш тривала експлуатація. Акумулятори працюють у широкому вікні зарядженого стану (15–100%) і показують сталу напругу в цьому діапазоні, що означає стабільну роботу. Ці переваги акумуляторів LFP роблять їх перспективними кандидатами для застосування в літальних апаратах, однак низька питома енергія в діапазоні 90–140 Вт·год/кг є недоліком порівняно з іншими літій-іонними акумуляторами. Характеристики акумуляторів LFP можуть бути покращені шляхом використання нанокристалічних матеріалів. Це забезпечує структурну стабільність, дозволяє компенсувати значні об'ємні зміни під час циклювання і полегшує іонну та електронну провідність. Натепер досліджується використання наноматеріалів для максимізації продуктивності, зменшення розміру та ваги поточних систем, підвищення продуктивності та зменшення витрат протягом життєвого циклу літій-іонних акумуляторів.

Враховуючи те, що одним із лімітуючих факторів застосування акумуляторів у літальних апаратах є їх вага, останнім часом розглядають можливість використання літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидних (NCA) і літій-нікель-манган-кобальт-оксидних (NMC) акумуляторів (табл. 2). Акумулятори NCA містять катод LiNiCoAlO_2 і графітовий анод. Зазвичай катод акумуляторів NCA виконаний зі сплаву 80% нікелю, 15% кобальту та 5% алюмінію, і тому, вміст кобальту менший порівняно з акумуляторами LCO. Акумулятори NCA мають високу питому енергію (200–250 Вт·год/кг), а також високу питому потужність, і витримують 1000–1500 повних циклів. Акумулятори NMC виконані з катоду LiNiMnCoO_2 і графітового аноду. Порівняно з акумуляторами NCA, акумулятори NMC мають більш низьку питому енергію, зазвичай у діапазоні 140–200 Вт·год/кг, хоча більш тривалий термін роботи (1000–2000 циклів). Співвідношення вмісту нікелю, мангану та кобальту різняться, що впливає на характеристики акумулятора і дає змогу врахувати вимоги до конкретного застосування. Збільшення вмісту нікелю підвищує питому енергію, тоді як збільшення вмісту мангану підвищує питому потужність. Акумулятори NMC і NCA мають близькі значення питомої енергії і потужності, але акумулятори NMC є більш безпечними і більш дешевими.

Список літератури

1. Zubi G., Dufo-López R., Carvalho M., Pasaoglu G. The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. *Renewable Sustainable Energy Rev.* – 2018. – Vol. 89. – P. 292–308.
2. Bills A., Sripad S., Fredericks W.L., Singh M., Viswanathan V. Performance metrics required of next generation batteries to electrify commercial aircraft. *ACS Energy Lett.* – 2020. – No. 5. – P. 663–668.
3. Barrera T.P., Bond J.R., Bradley M., Gitzendanner R., Darcy E.C., Armstrong M., Wang C.-Y. Next-generation aviation Li-ion battery technologies-enabling electrified aircraft. *Electrochem. Soc. Interface.* – 2022. – Vol. 31. – P. 69–74.