

СХИЛЬНІСТЬ ЛІТІЙ-ІОННИХ БАТАРЕЙ ДО ТЕПЛООВОГО РОЗГОНУ

Трегубов Д.Г., Майборода А.О., Гапон Ю.К.

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

Концепція автономності приладів визначає масове застосування батарей; літій-іонні є більш ефективними та дослідженими, але вони схильні до теплового розгону (TR), що викликає пожежі. Це явище відоме й для заряджених лужних батарей: за нештатних ситуацій зростає t електроліту, досягається струм короткого замкнення (КЗ), починається електроліз, виділення водню та кисню. Кадмієвий катод поглинає кисень з окисненням та виділенням тепла. Виділення газів призводить до здуття батареї. Процес самоприскорюється.

Літій-іонні батареї: напруга комірки до 4,2 В; анод – графіт на мідній фользі, катод 2 типів – на Al [1]; 1) Li-NMC (нікель-манган-кобальт оксид), 2) LiFePO₄ (ферофосфат); щільність енергії – 1) 0,2, 2) 0,15 кВт·год/кг; робочих циклів – 1) 2500, 2) 5000; виділення кисню – 1) +, 2) –; допустима глибина розряду – 1) 90, 2) 100 %; саморозряд – 1) 4, 2) 3 %/місяць; зниження напруги за розряду – 1) плавне, 2) різке; стійкість до TR – 1) 160, 2) 250 °C; токсичність – 1) +, 2) –.

Електроліти бувають рідкі, гелеві, полімерні з тетрафторборату, гексафторфосфату, перхлорату, фториду літію у полярному розчиннику: вініл-, етилен-, пропілен-, діметил-, діетил-, метилетил- карбонати [1]; $t_{пл}$ – 37, 35, -49, 5, -13, -14 °C (мала $t_{пл}$ – малий найменший кластер [2]) визначає робочий діапазон батареї; $t_{кип}$ – 243, 248, 240, 91, 126, 107 °C – тиск пари за перегріву, $t_{сп}$ – 160, 160, 132, 17, 33, 27 °C – легкість займання (перші 3 є горючими, останні 3 – легкозаймистими рідинами [3]). Розчинник повинен мати високу ϵ і ϵ середовищем руху іонів Li.

Стадії аварії батареї [4]: 1) тепло-, електро-, механічні пошкодження зі зростанням t до 140 °C та тиску; 2) утворення та викид горючих газів електролізу; 3) плавлення сепаратору, здуття; КЗ з TR до 850 °C і щільним димом; 4) полум'яне горіння газів електролізу, пари електроліту, газів розкладання та прилеглих матеріалів. З $t \approx 250$ °C реакції диспропорціювання оксидів катоду виділяють кисень. За $t > 600$ °C починається окиснення карбону анодів [5], далі плавиться алюмінієва основа катоду, t зростає до 1000 °C. Енергію зарядженої батареї порівнюють з тротиловим еквівалентом вибуху, для ноутбука це – до 50 г ТНТ. За перевезення партіями розігрів однієї батареї викликає каскадний процес. Перші 2 стадії TR можливо зупинити, наступні потребують пожежогасіння (застосовують охолодження водою). Актуальні напрями наукових розробок: батареї без теплового розгону; системи моніторингу, охолодження та пожежогасіння.

Література:

1. Nitta N., Wu F., Lee J. T., Yushin G. Li-ion battery materials: present and future. *Materials Today*. 2015. №18/5. P. 252–264.
2. Трегубов Д.Г. та ін. Ідентифікація кластерної будови вуглеводнів за температурами плавлення. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2021. №34. С. 94–109.
3. Трегубов Д.Г. та ін. Фізико-хімічні основи розвитку та гасіння пожеж горючих рідин. Харків: НУЦЗ України, 2024. 216 с. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/19111>
4. Barowy A. *The Science of Fire and Explosion Hazards from Lithium-Ion Batteries*. Evanston, USA: Fire Safety Research Institute, 2023. 11 p.
5. Трегубов Д.Г. Застосування методу термічного випробування матеріалів у обертовій камері. *Проблеми пожежної безпеки*. 2013. № 34. С. 161–166.