

АНОДНИЙ МАТЕРІАЛ ВИСОКОЇ ЧИСТОТИ НА ОСНОВІ ПРИРОДНОГО ГРАФІТУ ДЛЯ ЛІТІЙ-ІОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ

**Хоменко В. Г.¹, Макєєва І. С.¹, Кислова О. В.¹, Нікулін Д. О.¹,
Іратхе де Меаца², Памела Смечеллато²**

¹*Київський національний університет технологій та дизайну, Україна*

²*Центр енергетичних технологій (CIDETEC Energy Storage), Іспанія
v.khomenko@i.ua*

Швидкий розвиток електротранспорту та високоенергоємних літій-іонних акумуляторів (ЛІА) зумовив стрімке зростання попиту на надчистий графіт для анодних матеріалів. Природний графіт має мати вміст вуглецю не менше ніж 99,95 %, щоб забезпечити його придатність для використання як анодного матеріалу в ЛІА. Навіть незначні домішки елементів (заліза, кремнію, сірки тощо) здатні істотно погіршувати експлуатаційні характеристики ЛІА. Тому розроблення ефективних, економічно доцільних і екологічно безпечних методів очищення природного графіту є актуальним завданням, реалізація якого забезпечує отримання анодних матеріалів із властивостями, близькими до синтетичних, але за значно нижчих енергетичних і фінансових витрат. Авторським колективом КНУТД у межах міжнародного проєкту GR4FITE3 програми «Горизонт Європа» розроблено ефективний метод хімічного очищення природного графіту. Як вихідну сировину для виготовлення анодного графіту було обрано концентрат марки ГАК-2 виробництва ТОВ «Завальєвський графіт». У розробленій технологічній схемі графіт ГАК-2 піддавали струменевому помолу з подальшою класифікацією, у результаті чого отримано однорідний порошок зі середнім розміром частинок $D_{50} \approx 17$ мкм, який отримав позначення GZI-99. Графіт піддавали одностадійному кислотно-фторидному вилуговуванню, що забезпечує ефективне видалення силікатних і алюмосилікатних домішок. Після хімічної обробки було отримано графіт із вмістом вуглецю 99,98 %.

Хімічно очищений зразок GZI-99 було передано до Центру енергетичних технологій (CIDETEC Energy Storage, Доностія-Сан-Себастьян, Іспанія) для проведення електрохімічних випробувань. Матеріал порівнювали з комерційним природним графітом NGr918 за ідентичних умов підготовки. Електроди, виготовлені з GZI-99, продемонстрували підвищену щільність (понад 1,7 г/см³), що перевищує показник NGr918 ($\approx 1,5$ г/см³) і забезпечує збільшення об'ємної енергоємності до понад 700 Вт·год/л. За стандартних умов обидва матеріали мали типовий рівень питомої ємності (~ 362 мА·год/г). При цьому аноди з GZI-99 зберігали стабільність параметрів і здатність до відновлення ємності навіть за підвищених швидкостей заряду-розряду (до 0,3 С), тоді як електроди на основі NGr918 демонстрували помітнішу деградацію. У лабораторних прототипах ЛІА із катодом нікель-марганець-кобальт-оксиду (NMC622) анодний матеріал GZI-99 продемонстрував високу стабільність під час циклування, що підтверджує його електрохімічну придатність для сучасних ЛІА.

Отримані результати підтверджують, що розроблений у межах проєкту GR4FITE3 анодний матеріал GZI-99 є перспективним графітом для літій-іонних акумуляторів, який поєднує високу чистоту, значну об'ємну енергетичну щільність та стабільність під час циклування з технологічною простотою й економічною доцільністю виробництва. Це створює підґрунтя для його подальшого масштабування та промислового впровадження.

ПОДЯКА

Робота виконується за фінансовою підтримкою проєкту ЄС 101103752 - GR4FITE «Стійке постачання графіту для анодів літій-іонних акумуляторів завдяки сталому розвитку європейського ланцюгу постачання» програми «Горизонт Європа».