

УДК 621.311.243; 621.311.245

**В.І.Будько**, канд.техн.наук (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

### Аналіз особливостей роботи та специфіки зарядних режимів нікель-металогідридних та літійєвих акумуляторних батарей

*В роботі розглянуті питання особливостей електрохімічних перетворень у нікель-металогідридних та літій-іонних акумуляторних батареях. Проаналізовано вплив застосування різних методів зарядження акумуляторних батарей на їх технічні та експлуатаційні характеристики. Відмічена необхідність проведення подальших наукових досліджень процесів зарядження літій-іонних та нікель-металогідридних акумуляторних батарей від установок на основі відновлюваних джерел енергії з метою врахування фактора випадковості виробітку енергії при розробці та проектуванні автономних зарядних станцій електромобілів. Бібл. 12, табл. 1, рис. 7.*

**Ключові слова:** літій-іонна акумуляторна батарея, нікель-металогідридна акумуляторна батарея, електромобіль, метод зарядження.

Orcid: 0000-0002-6219-4221

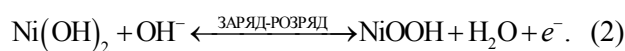
**Особливості роботи нікель-металогідридних акумуляторних батарей.** Наступним кроком у розвитку джерел живлення для електромобіля стало створення нікель-металогідридної акумуляторної батареї, вперше запатентованої Віллом у 1975 р. Проте промислове виробництво даних вторинних хімічних джерел струму стало можливим після створення сплаву La-Ni-Co, який дозволяв оборотно адсорбувати водень протягом більше 100 циклів "заряд-розряд".

Загальна струмоутворююча електрохімічна реакція нікель-металогідридного акумулятора описується наступним рівнянням [1]:

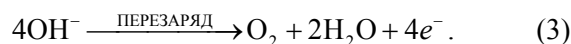


Електрохімічна система складається з оксидно-нікелевого катода, анода, що зазвичай являє собою сплав декількох металів та лужного електроліту. Як видно із сумарної реакції, процес проходить із перенесенням протона від катода до анода при розряді і навпаки під час зарядження акумулятора, тому концентрація електроліту залишається незмінною.

Напівпроцес на катоді даної електрохімічної системи в загальному випадку описується наступним рівнянням:



При досягненні номінальної ємності на катоді розпочинається побічний процес виділення кисню за наступним рівнянням:

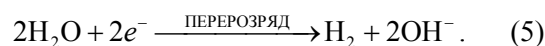


Кисень, що утворився на катоді, при перезаряді дифундує через пористий сепаратор до анода і відновлюється на ньому:

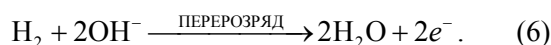


Реакції утворення кисню на катоді (3) та його відновлення на аноді (4) при перезаряді нікель-металогідридного акумулятора реалізують замкнутий кисневий цикл, який дозволяє стабілізувати тиск у герметичних акумуляторах даної електрохімічної системи.

При розряді після витрати всіх активних компонентів (ємності) катода на ньому починає протікати побічна реакція виділення водню за наступним рівнянням:

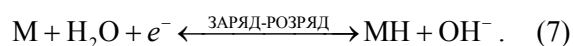


Утворений водень дифундує через пористий електрод до поверхні анода і окислюється на ньому:



Реакції утворення водню на катоді (5) та його окислення на аноді (6) при перерозряді нікель-металогідридного акумулятора реалізують замкнутий водневий цикл, який дозволяє стабілізувати тиск у герметичних акумуляторах даної електрохімічної системи.

Напівпроцес на аноді нікель-металогідридного акумулятора описується наступним рівнянням:



Основним матеріалом, що визначає характеристики нікель-металогідридного акумулятора, є сплав металів, що здатний абсорбувати в 1000 разів більший об'єм водню, ніж його власний. Зазвичай сплави металів складаються з металу А, який екзотермічно поглинає водень, та металу В, що утворює гідриди з поглинанням теплоти (ендотермічний процес). В залежності від складу сплавів їх розділяють на наступні типи: АВ, АВ<sub>2</sub>, АВ<sub>5</sub>, А<sub>2</sub>В.

При заряді та розряді нікель-металогідридного акумулятора відбувається розширення та стиснення на 15-25% кристалічної решітки сплавів через абсорбцію та десорбцію водню.

Згідно з [2] стандартизований заряд нікель-металогідридного акумулятора проводять при температурі навколишнього середовища 20±5°C постійним струмом 0,1С<sub>н</sub>, що вважається класичним методом заряду для даної електрохімічної системи.

Згідно з [3] методи заряду НМГ АВ розрізняють за швидкістю:

- крапельна зарядка (trickle charge) – зарядка струмом 0,1С<sub>н</sub>;
- швидка зарядка (quick charge) – струмом порядку 0,3С<sub>н</sub>;
- прискорена зарядка (fast charge) – струмом 0,5-1,0 С<sub>н</sub>.

Насправді принципових відмінностей між швидкою і прискореною зарядкою немає, вони відрізняються лише кращими методами визначення кінця процесу зарядки. Тому частіше розрізняють тільки два види зарядки: крапельну і швидко.

На відміну від свинцево-кислотних та лужних нікель-залізних АВ, повільний заряд (а в даному випадку його називають крапельним) не

сприяє довгому ресурсу роботи нікель-металогідридних акумуляторів. При крапельному заряді струм не відключають навіть після досягнення номінального значення ємності. Вважається, що навіть якщо вся енергія при заряді буде перетворюватися в тепло, то при такому малому струмі акумулятор не зможе істотно нагрітися. Для NiMH акумуляторів невеликої ємності, які погано реагують на перезарядку, струм крапельного заряду рекомендується не більше 0,05С<sub>н</sub>. Для акумуляторів більшої ємності значення струму крапельної зарядки більше. Це означає, що зарядні пристрої, призначені для зарядження акумуляторів великої ємності, будуть непридатними для акумуляторів малої ємності, оскільки можливий сильний розігрів, що в кінцевому результаті скорочує термін їх служби.

Єдиною перевагою крапельної зарядки є простота реалізації (без контролю кінця зарядки). У той же час виробники нікель-металогідридних акумуляторів не рекомендують користуватися крапельною зарядкою. В останній час деякі виробники акумуляторів спеціально заявляють, що сучасні НМГ акумулятори не деградують під впливом тривалої крапельної зарядки.

Більшість виробників нікель-металогідридних акумуляторів приводять характеристики своїх акумуляторів для випадку швидкого заряду струмом 1С<sub>н</sub>. Хоча можливо зустріти рекомендації не перевищувати струм понад 0,75С<sub>н</sub>. Ці рекомендації пов'язані з безпекою відкривання вентиляційних отворів акумулятора (такі клапани є на кожному корпусі акумулятора) при швидкій зарядці в умовах підвищеної температури навколишнього середовища. Зарядний пристрій повинен оцінити умови і прийняти рішення про допустимість швидкого заряду. Вважається, що швидкий заряд можна використовувати тільки в діапазоні температур 0-40°C і при напрузі на акумуляторі 0,8-1,8 В. В кінці заряду при досягненні С<sub>н</sub> ККД даного процесу різко падає, і практично вся енергія, що надається акумулятору, починає перетворюватися в теплову.

Алгоритм роботи швидкого зарядного пристрою складається з декількох фаз:

1. Визначення наявності акумулятора.
2. Кваліфікація акумулятора (Qualification).

3. Попередня зарядка (Pre-charge).
4. Перехід до швидкої зарядки (Ramp).
5. Швидка зарядка (Fast charge).
6. Дозарядження (Top-of charge).
7. Підтримуюча зарядка (Maintenance charge).

Для виключення перезаряду нікель-металогідридних АБ застосовують ряд методів контролю заряду з відповідними датчиками, що встановлюються в батареї або зарядному пристрої:

- метод відключення по абсолютній температурі  $T_{max}$ ;
- метод відключення по швидкості зміни температури  $\Delta T/\Delta \tau$ ;
- метод відключення по негативній дельті напруги  $-\Delta U$ ;
- метод відключення по максимальному часу зарядження  $\tau_{max}$ ;
- метод відключення по максимальному тиску  $P_{max}$ ;
- метод відключення по максимальній напрузі  $U_{max}$ .

Не дивлячись на переваги та недоліки кожного з методів, доцільним є їх поєднання для покращення ефективності швидких зарядних пристроїв даних акумуляторів.

Для нікель-металогідридних акумуляторів не рекомендують проводити заряд при постійній напрузі, оскільки це може призвести до теплового виходу з ладу. Це пов'язано з тим, що в кінці зарядження відбувається підвищення зарядного струму, який пропорційний різниці між напругою електроживлення та напругою акумулятора, а напруга акумулятора в кінці заряду знижується через підвищення температури системи (рис. 1). У випадку короткого замикання в одному з акумуляторів батареї відбуватиметься подача підвищеного струму на інші акумулятори.

Більшість нікель-металогідридних акумуляторів можуть експлуатуватися в буферному режимі при зарядженні нормованим струмом  $0,01-0,03C_n$  без обмеження часу.

Зарядження даних АБ від вітроелектричних чи фотоелектричних установок потребує додаткових досліджень не тільки через стохастичну особливість роботи даних джерел енергії, але й

через фактор інтенсивного розігріву у випадку перезаряду даних АБ високими струмами.

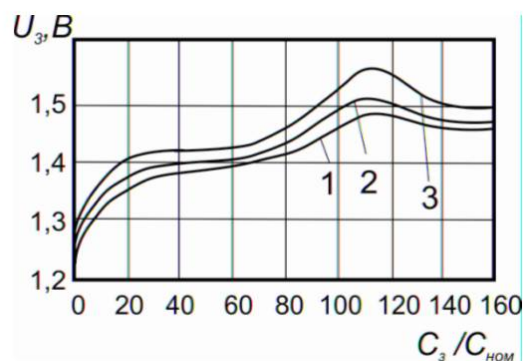


Рис. 1. Зарядні характеристики нікель-металогідридного акумулятора при температурі 20°C та різних нормованих струмах заряду:  
1 –  $0,1C_n$ ; 2 –  $0,5C_n$ ; 3 –  $1C_n$ .

Нікель-металогідридні акумуляторні батареї застосовуються на електротранспорті, однак зарядження акумуляторів розглянутими вище методами базується на використанні стаціонарного джерела живлення. Створення зарядних пристроїв на основі відновлюваних джерел енергії (вітроелектричних, фотоелектричних чи комплексних) потребує подальших наукових досліджень, зокрема в питаннях використання даних акумуляторів у буферному режимі на даних зарядних станціях, а також у питаннях ефективних методів зарядження для покращення експлуатаційних показників даних вторинних хімічних джерел живлення електротранспортних засобів різного функціонального призначення.

**Особливості роботи літій-іонних акумуляторних батарей.** Використання літєвих вторинних хімічних джерел струму в якості тягового джерела живлення електромобілів на сьогоднішній день є найбільш масовим, що пояснюється в першу чергу високими питомими енергетичними характеристиками даних акумуляторних батарей, великим ресурсом роботи та незначним саморозрядом у порівнянні зі свинцево-кислотними, нікель-залізними та нікель-металогідридними акумуляторними батареями. Не дивлячись на те, що первинні літєві елементи були відкриті на початку 70-х років минулого століття, на створення вторинного літєвого хімічного джерела струму пішло біля 20 років. Промислове виробництво літєвих акумуляторів припадає на 1991 рік, коли

японська компанія *Sony* розпочала їх масове виготовлення [4]. З того часу об'єми виробництва даних акумуляторних батарей тільки зростають, особливо починаючи з ХХІ-го століття [5] (рис. 2).

При цьому постійно зростаюча частка ви-

робництва літєвих елементів припадає на потреби електротранспорту (рис. 3, 4). Згідно прогнозних розрахунків, до 2025 року відбудеться зростання літєвих АБ на 10% від загальносвітового виробництва усіх типів АБ.

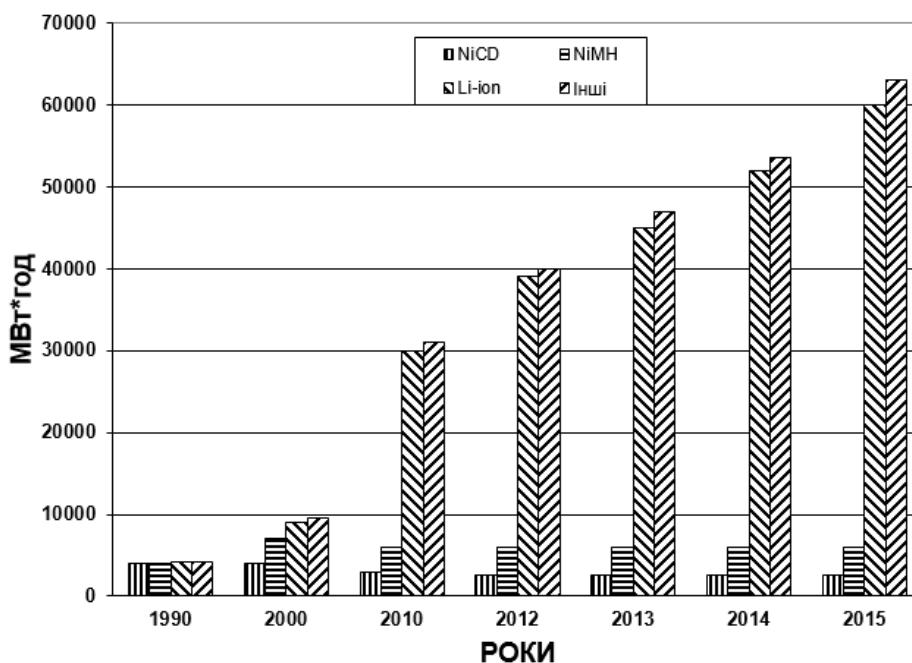


Рис. 2. Приріст виробництва акумуляторних батарей різних типів без урахування свинцево-кислотних АБ.

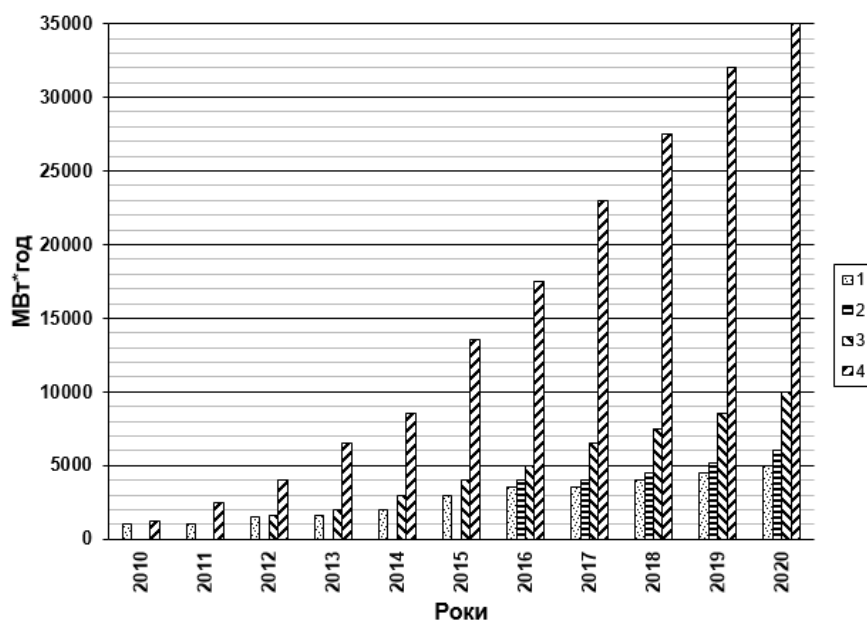


Рис. 3. Динаміка зростання та прогноз використання літій-іонних акумуляторних батарей як тягових джерел живлення електротранспорту різних типів: 1 – нікель-металогідридні АБ для гібридних транспортних засобів; 2 – літій-іонні АБ для гібридних транспортних засобів; 3 – літій-іонні АБ для заряджуваних гібридних транспортних засобів; 4 – літій-іонні АБ для електромобілів.

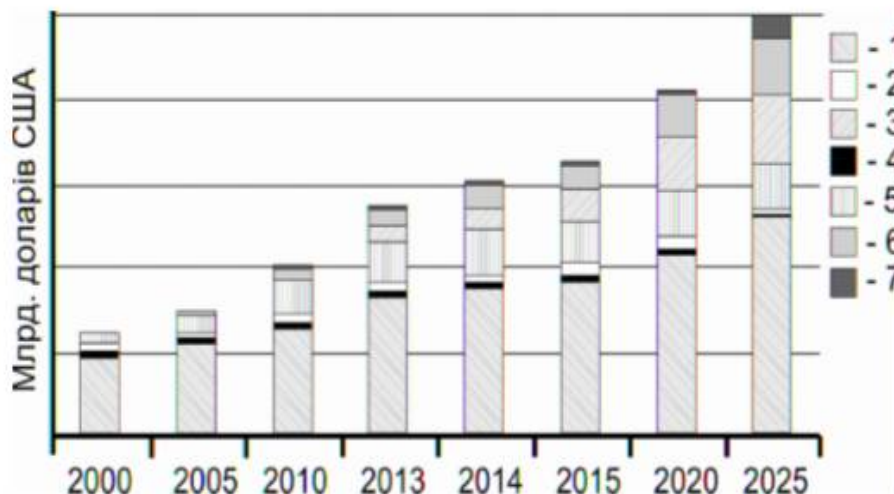


Рис. 4. Існуючий приріст (2000-2015 роки) та прогностні показники (2015-2025 роки) збільшення інвестицій у виробництво акумуляторних батарей різних типів: 1 – свинцево-кислотні АБ; 2 – нікель-металогідридні АБ; 3 – літєві АБ для електромобілів; 4 – нікель-кадмієві АБ; 5 – літій-іонні АБ для комп'ютерів, комунікацій та споживчої електроніки; 6 – літій-іонні АБ для іншого обладнання, крім електротранспорту; 7 – інші типи АБ для електротранспорту.

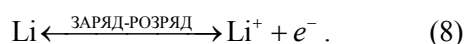
Особливість роботи літєвого електрода полягає в тому, що в будь-яких електролітах він самочинно покривається пасивною плівкою, яка володіє провідністю твердого електроліту по іонах літію, не перешкоджає анодному розчиненню активного матеріалу та запобігає саморозряду.

На сьогоднішній день прийнято розрізняти три типи літєвих АБ:

- акумулятори з металевим літєвим електродом та рідким електролітом;
- літій-іонні акумулятори;
- літій-полімерні акумулятори.

У літєвих акумуляторах промислового виробництва аноди виготовляють зі сплавів металів, у яких оборотно відбувається катодне занурення (катодна інтеркаляція) та анодна екстракція (анодна деінтеркаляція) літію.

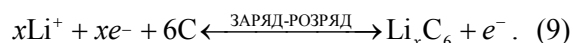
Струмоутворююча електрохімічна реакція на літєвому електроді в акумуляторах з металевим літєвим електродом та рідким електролітом описується наступним рівнянням [4]:



Однією з основних проблем функціонування металевих літєвих електродів є дендритоутворення та інкапсулювання. На даний час проводяться пошукові роботи для вирішення даної проблеми.

В усіх літій-іонних акумуляторах промислового виробництва аноди виготовляються з вуглецевих матеріалів, у яких оборотно відбувається катодне занурення (катодна інтеркаляція) та анодна екстракція (анодна деінтеркаляція) літію. При цьому застосовують апротонні неводні електроліти.

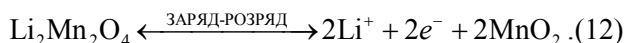
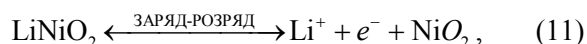
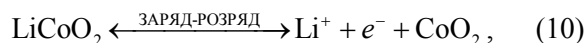
При використанні графітових структур як основної матриці анодного матеріалу струмоутворююча електрохімічна реакція на літєвому електроді в літій-іонних акумуляторах описується наступним рівнянням:



В результаті пошуку вирішення проблеми негативного електрода літєвого акумулятора запропоновано використання полімерних електролітів, що виключило явище інкапсулювання та знизило, а в деяких електрохімічних літєвих системах взагалі виключило короткі замикання через дендритоутворення. При цьому застосування полімерних електролітів було поширено і на літій-іонні АБ.

Католи літєвих та літій-іонних АБ виготовляють з літєваних оксидів кобальту або нікелю, а також із літій-марганцевих шпінелей. Робота катода зазвичай зводиться до інтеркаляції та деінтеркаляції літію відповідно під час заряду

та заряду даного електрода за наступними рівняннями:



Більшість виробників літєвих та літій-іонних електрохімічних акумуляторів у відповідності з матеріалами, представленими в [5], рекомендують проводити заряд за складним графіком (рис. 5), згідно якого спочатку заряджають акумулятор при постійному струмі величиною  $0,2-1C_n$  до досягнення заданого значення напруги (наприклад, для літій-іонних АБ 4,1-4,3 В), при цьому отримується 70-80% необхідної ємності. Після цього відбувається переключення на заряд при постійній напрузі, а струм зменшується в залежності від часу заряду.

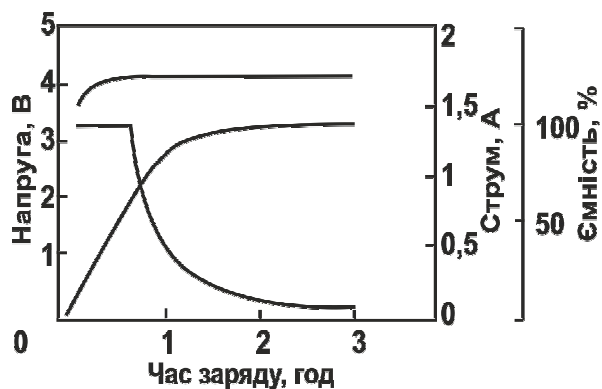


Рис. 5. Типовий графік заряду літій-іонного акумулятора нормованим зарядним струмом  $1C_n$ , постійна напруга 4,1 В: 1 – струм; 2 – ємність; 3 – напруга.

Всі літєві та літій-іонні акумулятори споруджуються вбудованою системою електронного захисту від перезаряду, перерозряду, переполнування, короткого замикання, перегріву та ін.

Основні промислові літєві АБ представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Базові технічні характеристики основних типів літєвих АБ, що мають промислове виробництво [6]

Абревіатура АБ	LCO	NCA	NMC	LMO	LFP	LTO
Назва	Lithium Cobalt Oxide	Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide	Lithium Nickel, Manganese Cobalt Oxide	Lithium Manganese Spinel	Lithium Iron Phosphate	Lithium Titanate
Катод	$\text{LiCoO}_2$	$\text{Li}(\text{Ni}_{0,85}\text{Co}_{0,1}\text{Al}_{0,05})\text{O}_2$	$\text{Li}(\text{Ni}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33})\text{O}_2$	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	$\text{LiFePO}_4$	Графіт
Анод	Графіт	Графіт	Графіт	Графіт	Графіт	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
Напруга одиничного елемента, В:						
- номінальна	3,6	3,6	3,6 - 3,7	3,7	3,2 - 3,3	2,4
- робочий діапазон	3,0 - 4,2	3,0 - 4,2	3,0 - 4,2	3,0 - 4,2	2,5 - 3,65	1,8 - 2,85
Питома енергія при нормованому струмі розряду	150 - 240 Вт-год/кг	200 - 260 Вт-год/кг	150 - 240 Вт-год/кг	100 - 150 Вт-год/кг	90 - 120 Вт-год/кг	70 - 80 Вт-год/кг
Ресурс	500 - 1000	500	1000 - 2000	300 - 700	1000 - 2000	3000 - 7000

В роботі [7] досліджено швидкий заряд літій-іонного акумулятора заряджуваного гібридного транспортного засобу (P-HEV) струмом  $3C_n$  в широкому інтервалі температур з метою встановлення можливості експлуатації таких гібридів у будь-якій кліматичній зоні. Зокрема, зроблено акцент на можливості швидкого заряду при

температурі навколишнього середовища мінус  $30^\circ\text{C}$ . Оскільки при низьких температурах та високих струмах заряду зростає ймовірність дендритоутворення і, як наслідок, короткого замикання акумулятора, запропоновано його поміщувати в "батарею для любих кліматичних зон" (рис. 6).

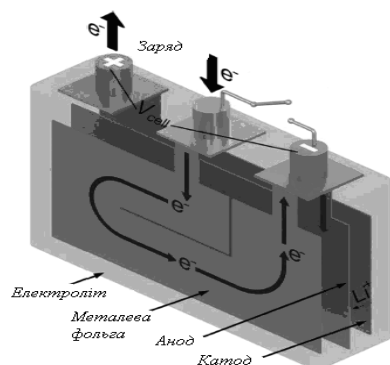


Рис. 6. Схематичне відображення "батареї для будь-яких кліматичних зон" ("all climate battery", ACB).

В даній батареї передбачене додавання на стінки блоку металевої фольги, яка створюватиме нагрів у камері АСВ при активації короткими імпульсами розряду і заряду, що дозволяє заряджати акумулятор до 80% від  $C_n$  за 14 хв, на відміну від 160 хв для звичайного стандартизованого заряду літій-іонного акумулятора. Результати експерименту показали витримку даного заряду протягом 500 циклів "заряд-розряд" без порушення структури літійового електрода. Підвищення нормованого зарядного струму до  $5-7C_n$ , при знижених температурах не рекомендується через негативний вплив на структуру анода та скорочення ресурсу роботи акумулятора в цілому. Крім того в роботі сказано, що заряд  $5C_n$ , можливо вести при температурі навколишнього середовища  $25^\circ\text{C}$ , однак ефективність такого заряду та його вплив на ресурс роботи акумулятора не показана. Точки на кривих моделювання відповідають 80% заряду від номінальної ємності (рис. 7).

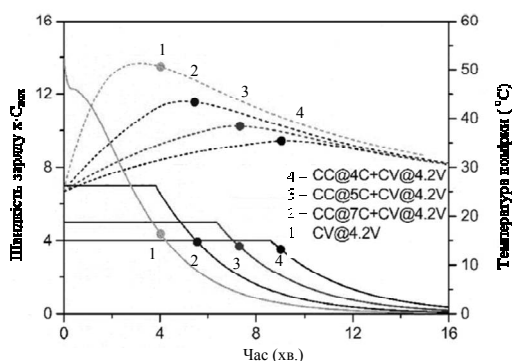


Рис. 7. Результати моделювання різних швидкостей зарядження при  $25^\circ\text{C}$ : 1 – заряд при постійній напрузі 4,2 В; 2 – заряд при постійному струмі  $7C_{ном}$  + постійній напрузі 4,2 В; 3 – заряд при постійному струмі  $5C_{ном}$  + постійній напрузі 4,2 В; 4 – заряд при постійному струмі  $4C_{ном}$  + постійній напрузі 4,2 В.

Як відомо, вітроелектричні установки мають стохастичний характер виробітку енергії, зважаючи на це в роботі [8] проведено дослідження впливу непостійного та неповного заряду акумуляторних батарей різних типів, а саме: свинцево-кислотна АБ (LA), літій-оксидно-кобальтова АБ (LCO), літій-нікель-марганець-кобальтова (компонентний катод) АБ (LCO-NMC), літій-залізо-фосфатна АБ (LFP). В результаті дослідження встановлено, що при систематичних недозарядках і тривалому зберіганні в розрядженому стані у зв'язку зі стохастичною роботою ВЕУ найменше зменшення показників номінальної ємності при більше 1000 циклів "заряд-розряд" продемонструвала літій-залізо-фосфатна АБ, в результаті чого зроблено висновок про рекомендацію щодо застосування даної електрохімічної АБ як джерела живлення для портативних систем (в тому числі й електротранспорту), за умови, що їх заряд будуть проводити від вітроелектричних установок. До недоліків даної роботи слід віднести те, що в роботі досліджувався тільки класичний заряд АБ, в той час як для електротранспорту актуальним стоїть питання швидкого заряду тягових джерел живлення. Отримані результати матимуть більшу користь для автономних зарядних станцій на основі ВДЕ за умови їх поширення на літій-залізо-фосфатні АБ, при використанні останніх як буферного джерела зберігання енергії автономної зарядної станції.

Практика використання літійових АБ на електротранспорті різного призначення демонструє постійні темпи зростання, що в свою чергу вимагає розвитку інфраструктури зарядних станцій, у тому числі й автономних на основі ВДЕ, які дозволитимуть реалізовувати як класичний заряд (за умови відсутності часових обмежень), так і швидкий заряд (обмежена тривалість зупинки на заряд тягових АБ електромобіля) [9–12]. Вирішення питання ефективних автономних зарядних станцій електромобілів на основі ВДЕ можливе за умови врахування при їх побудові факторів випадкового характеру виробітку енергії, необхідності та масштабів буферного резервування енергії, оптимізації підбору генеруючого обладнання з урахуванням фактора місцевості та особливості кліматометеороло-



гічних умов та ін. Комплексний підхід до побудови екологічно чистих заправок станцій дозволить збільшити частку ВДЕ у виробництві енергії, локалізуючи вплив на роботу централізованих енергосистем.

**Висновки.** 1. Збільшення частки використання нікель-металогідридних та літій-іонних акумуляторних батарей на електромобілях різного функціонального призначення ставить питання розвитку інфраструктури зарядних станцій та стимулює пошук нових методів зарядження даних акумуляторних батарей, у тому числі і від установок на основі відновлюваних джерел енергії, при умові вирішення проблеми стохастичного виробітку електричної енергії.

2. Зростання кількості станцій швидкого зарядження нікель-металогідридних та літій-іонних тягових акумуляторних батарей електромобілів від централізованої лінії електроживлення негативно впливатиме на роботу енергосистеми через нерівномірність великих струмових навантажень. Розроблення станцій швидкого заряду даних типів акумуляторних батарей від установок на основі ВДЕ дозволить отримати додатковий виробіток електричної енергії для конкретного споживача без негативного впливу на центральну мережу та навколишнє середовище.

1. *Інтернет ресурс.* Режим доступу:

[http://batteryuniversity.com/learn/article/batteries\\_for\\_transportation\\_aerospace](http://batteryuniversity.com/learn/article/batteries_for_transportation_aerospace).

2. *IEC 61436:1998* Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Sealed nickel-metal hydride rechargeable single cells. 1998, 25 с.

3. *Інтернет ресурс.* Режим доступу: [http://2a3a.ru/charge\\_nimh/](http://2a3a.ru/charge_nimh/).

4. *Химические источники тока:* Справочник / Под редакцией Н.В. Коровина и А.М. Скудина. – М. : Издательство МЭИ, 2003. – 740 с.

5. *BS EN 61960-2:2002, IEC 61960-2:2001* Secondary lithium cells and batteries for portable applications. Secondary lithium batteries. Інтернет ресурс. Режим доступу: <http://www.mpoweruk.com/standards.htm#lithium>.

6. *Інтернет ресурс.* Режим доступу [http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion).

7. *Chao-Yang Wang and other* "A Fast Rechargeable Lithium-Ion Battery at Subfreezing Temperatures" / Journal of The Electrochemical Society, 163 (9) A1944-A1950 (2016), Manuscript submitted May 4, 2016; revised manuscript received June 10, 2016. Published July 13, 2016. Режим доступу: <http://jes.ecsdl.org/content/163/9/A1944.full.pdf+html>.

8. *Elena M. Krieger, John Cannarella, Craig B. Arnold* "A comparison of lead-acid and lithium-based battery behavior and capacity fade in off-grid renewable charging applications" / Energy / Energy 60 (2013) 492-500. Режим доступу: journal homepage: [www.elsevier.com/locate/energy](http://www.elsevier.com/locate/energy).

9. *Будько В.І.* Концепція зарядження акумуляторної батареї електромобіля від фотоелектричної станції / В.І. Будько, С.О. Кудря, В.Б. Павлов // Відновлювана енергетика. – 2014. – № 1. – С. 16–21.

10. *Будько В.І.* Особливості зарядження акумуляторної батареї електромобіля від стаціонарної вітроелектричної станції / В.І. Будько // Відновлювана енергетика. – 2014. – № 2. – С. 16–19.

11. *Будько В.І.* Дослідження режимів паралельної роботи тягових джерел живлення екомобіля / В.І. Будько // Відновлювана енергетика. – 2014. – № 4. – С. 31–34.

12. *Будько В.І.* Зарядно-тренувальний пристрій для свинцево-кислотних акумуляторів / В.І. Будько, І.С. Кочков, О.І. Кочков // Відновлювана енергетика. – 2008. – № 2. – С. 9–14.

#### REFERENCES

1. *Internet resource.* Access mode: <http://batteryuniversity.com/>.

2. *IEC 61436:1998* Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Sealed nickel-metal hydride rechargeable single cells. 1998, 25 с.

3. *Internet resource.* Access mode: [http://2a3a.ru/charge\\_nimh/](http://2a3a.ru/charge_nimh/).

4. *Chemical conductors Sources:* Directory / Under the editors N.V. Korovin and A. M. Skudyn. – M. : MEI Publishing, 2003. – 740 p.

5. *BS EN 61960-2: 2002, IEC 61960-2: 2001* Secondary lithium cells and batteries for portable applications. Secondary lithium batteries. Internet resource. Access: <http://www.mpoweruk.com/standards.htm#lithium>.

6. *Internet resource.* Access mode: [http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion).

7. *Chao-Yang Wang and other* "A Fast Rechargeable Lithium-Ion Battery at Subfreezing Temperatures" / Journal of The Electrochemical Society, 163 (9) A1944-A1950 (2016), Manuscript submitted May 4, 2016; revised manuscript received June 10, 2016. Published July 13, 2016. Access: <http://jes.ecsdl.org/content/163/9/A1944.full.pdf+html>.

8. *Elena M. Krieger, John Cannarella, Craig B. Arnold* "A comparison of lead-acid and lithium-based battery behavior and capacity fade in off-grid renewable charging applications" / Energy / Energy 60 (2013) 492-500. Access: journal homepage: [www.elsevier.com/locate/energy](http://www.elsevier.com/locate/energy).

9. *Budko V.I.* Concept of charging the battery of electric photovoltaic station / V.I. Budko, S.A. Kudria, V.B. Pavlov // Renewable Energy. – 2014. – № 1. – P. 16–21.

10. *Budko V.I.* Features of electric car charging battery from stationary wind power station / V.I. Budko // Renewable Energy. – 2014. – № 2. – P. 16–19.

11. *Budko V.I.* Research mode parallel operation of the traction power supply ekomobile / V.I. Budko // Renewable Energy. – 2014. – № 4. – P. 31–34.



12. Budko V.I. Charging-training device for the lead-acid battery / V.I. Budko, I.S. Kochkov, A.I. Kochkov // Renewable energy. – 2008. – № 2. – P. 9–14.

**В.И.Будько**, канд.техн.наук (Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского", Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

#### Анализ особенностей работы и специфики зарядных режимов никель-металлогидридных и литиевых аккумуляторных батарей

*В работе рассмотрены вопросы особенностей электрохимических превращений в никель-металлогидридных и литий-ионных аккумуляторных батареях. Проанализировано влияние применения различных методов зарядки аккумуляторных батарей на их технические и эксплуатационные характеристики. Отмечена необходимость проведения дальнейших научных исследований процессов зарядки литий-ионных и никель-металлогидридных аккумуляторных батарей от установок на основе возобновляемых источников энергии с целью учета фактора случайности выработки энергии при разработке и проектировании автономных зарядных станций электромобилей. Библ. 12, табл. 1, рис. 7.*

**Ключевые слова:** литий-ионная аккумуляторная батарея, никель-металлогидридная аккумуляторная батарея, электромобиль, метод зарядки.

**Budko V.**, candidate of technical sciences, docent (National Technical University of Ukraine "Igor Sykorsky Kyiv Polytechnic Institute", Institute of Renewable Energy National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv)

#### Analysis and features work modes specifics charger nickel-metal hydride and lithium-iron batteries

*The work has been devoted to the issue features electrochemical transformations in NiMH and Li-ion batteries. The influence of various methods charge the battery in their technical and operational characteristics. The noted the need for further research processes charging Li-ion and NiMH batteries from plants based on renewable sources of energy in order to reflect the randomness factor of output power in the development and design of autonomous electromobiles charge stations. References 12, table 1, figures 7.*

**Keywords:** lithium-ion battery, nickel-metal-hydride battery, electromobile, charge method.

#### SYNOPSIS

This work is devoted to the analysis of NiMH and lithium-ion electrochemical batteries used in electric vehicles native types. It is noted that these classical methods of charging the traction power supply based on the use charging stations from the main power supply. Given the specifics of electric vehicles means ever-increasing share of nickel-metal hydride and lithium-ion electrochemical batteries for electric cars on the one hand, and the need to increase the share of renewable energy in generating electricity from another question in the search and development of new technical solutions for stand-alone chargers classical stations and quick charge from photovoltaic, wind power plants or complex. Battery systems with stochastic output power not affect the central grid and will increase the output of clean energy to charge electric vehicles.

Стаття надійшла до редакції 30.03.17

Остаточна версія 17.05.17

**X МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА**  
**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ. ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА - 2017**  
 ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

**7-9**  
**листопада**

**ІЕС**

**МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**  
 Україна, Київ, Броварський пр-т, 15  
 "Лівобережна"  
 ☎ +38 044 201-11-66, 206-87-86  
 e-mail: [energo@iec-expo.com.ua](mailto:energo@iec-expo.com.ua)  
[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua), [www.мвц.укр](http://www.мвц.укр)  
[www.tech-expo.com.ua](http://www.tech-expo.com.ua)

ОРГАНІЗАТОР:  
 Міжнародний виставковий центр  
 ЗА ПІДТРИМКИ:  
 Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України  
 Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України  
 Технічний партнер: *RealMedia*