

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 свинцево-кислотних та нікель-залізних акумуляторних батарей**

*В роботі розглянуті теоретичні питання електрохімічних перетворень у свинцево-кислотних та нікель-залізних акумуляторних батареях. Проаналізовано вплив застосування різних режимів зарядження акумуляторних батарей на їх технічні характеристики. Відмічена необхідність більш глибокого аналізу та дослідження процесів зарядження акумуляторних батарей від установок на основі відновлюваних джерел енергії з метою врахування фактора випадковості при розробці та проектуванні автономних зарядних станцій електромобілів. Бібл. 9, рис. 5.*

**Ключові слова:** акумуляторна батарея, електромобіль, фотоелектрична станція, вітроелектрична станція, метод зарядження.

Orcid: 0000-0002-6219-4221

**Особливості роботи свинцево-кислотних акумуляторних батарей.** Як відомо, реалізація ефективного електромобіля стала можливою після винайдення надійного акумулятора, який міг би легко заряджатись та мав хороші енергетичні показники. Завдяки відкриттю Планте в 1859 році свинцево-кислотного акумулятора з подальшим удосконаленням завдяки роботам К.Форе, в 1881 році було отримано перший працездатний електрохімічний акумулятор, завдяки появі якого з середини 80-х років XIX століття електромобілі вступили в еру свого розвитку.

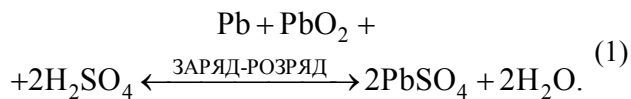
Фердинанд Порше у квітні 1900 року на виставці в Парижі представив електромобіль Lohner-Porsche зі свинцево-кислотою акумуляторною батареєю (СКАБ) ємністю 300 А·год та напругою 80 В, якої було достатньо на 100 км пробігу. Не дивлячись на таку давню історію, даний тип акумуляторних батарей і сьогодні використовується виробниками електромобілів у якості джерела живлення. Це пояснюється, в першу чергу, найменшою вартістю даних акумуляторів за 1 А·год ємності, високою питомою потужністю та надійністю в роботі.

Не дивлячись на широке практичне застосування та постійно зростаючу динаміку літєвих акумуляторних батарей на електротранспорті, все ще найбільше використовують свинцево-

кислотні АБ, зокрема на електричних транспортних засобах, задіяних у житлово-комунальній, виробничій, медичній та соціальній сферах.

Стандартне значення ЕРС однієї гальванічної пари даної електрохімічної системи (згідно рівняння Нернста) становить 2,041 В (зазвичай приймають 2 В), але для збільшення напруги їх набирають в акумуляторну батарею (АБ) напругою 6 В та 12 В. У випадку використання даних АБ як джерела електроживлення електромобіля вони набираються в блоки з напругою 24 В, 48 В, 96 В, 120 В і більше.

Основний струмоутворюючий процес згідно загальноприйнятої теорії подвійної сульфатації в свинцево-кислотних акумуляторах виглядає наступним чином:



Аналіз рівняння (1) показує, що по мірі розряду акумулятора даної електрохімічної системи відбувається зменшення концентрації кислоти ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) в розчині електроліту та зростання концентрації розчинника ( $\text{H}_2\text{O}$ ) та сульфату свинцю ( $\text{PbSO}_4$ ), що призводить до погіршення електропровідності електроліту та зниження напруги в акумуляторі, що підтверджується наступною залежністю (рис. 1):

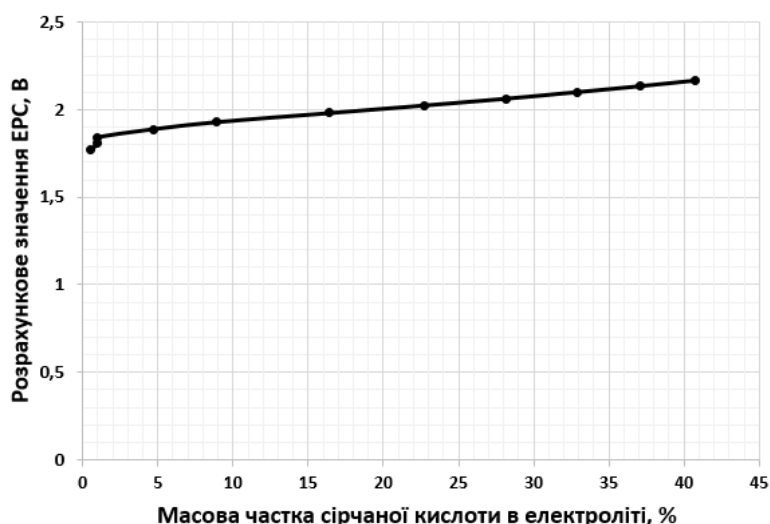


Рис. 1. Зміна електрорушійної сили (ЕРС) свинцево-кислотного акумулятора в залежності від концентрації сірчаної кислоти ( $H_2SO_4$ ) в розчині електроліту.

Ємність СКАБ залежить від струму розряду  $I_p$ . Зокрема, як показано на рис. 2, збільшення розрядного струму до  $2,4C_n$  призводить до зменшення ємності, яку ми можемо отримати при струмі  $0,1C_n$ , що добре описується розповсюдженим рівнянням Пейкерта [1]:

$$C(i) = \frac{A}{i^n}, \quad (2)$$

де  $C(i)$  – ємність акумулятора для конкретного струму розряду  $i$ , А;  $A$  та  $n$  – емпіричні константи.

Однак дана залежність добре описує залежність ємності АБ від нормованого струму розряду при середніх режимах, а при великих та

малих швидкостях дає найбільші похибки. Зважаючи на це, використавши програмне середовище *Microsoft Excel* побудовано лінію тренда, яка дозволяє встановити наближену залежність  $C_n = f(I)$  з коефіцієнтом кореляції 0,9884. В результаті аналізу отримано логарифмічну залежність у вигляді наступного рівняння:

$$C(i) = -22,57 \ln(i) + 40,443. \quad (3)$$

Це необхідно враховувати при використанні даного типу акумуляторів як джерела живлення електромобілів у різних режимах руху транспортного засобу і відповідно навантаження АБ.

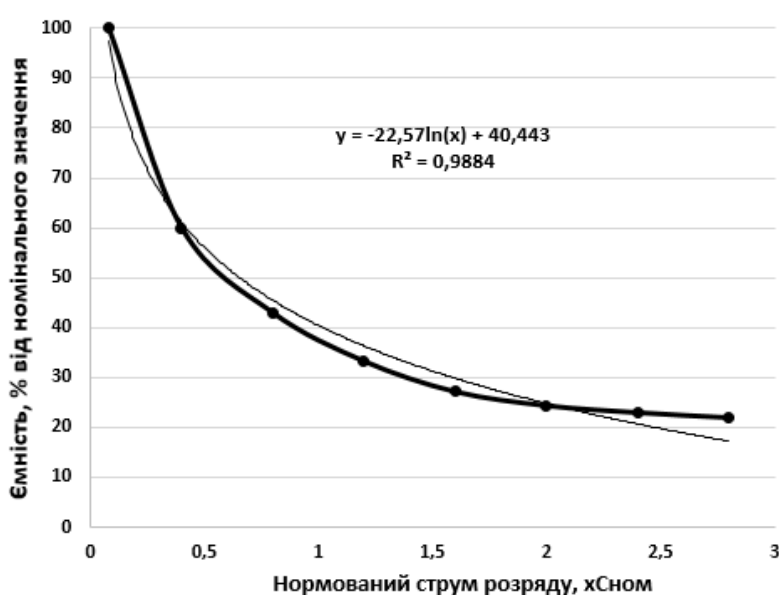


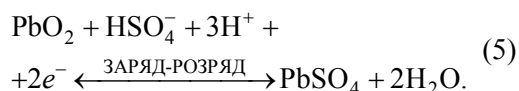
Рис. 2. Залежність ємності свинцево-кислотного акумулятора від нормованого струму розряду.

Залежність ємності СКАБ акумулятора від температури описується за відомою залежністю:

$$C_{t_1} = \frac{C_{t_2}}{1 + \alpha(t_2 - t_1)}, \quad (4)$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт ємності.

Робота катоду в СК акумуляторі описується наступним рівнянням:



Значення стандартного електродного потенціалу  $E^0$  залежить від кристалічної модифікації діоксиду свинцю і при стандартних умовах (25°C, 760 мм.рт.ст.) для  $\alpha\text{-PbO}_2$ :  $E^0 = 1,6871$  В, а для  $\beta\text{-PbO}_2$ :  $E^0 = 1,6971$  В.

Активна маса катоду складається з діоксиду свинцю який може існувати в двох кристалічних модифікаціях: ромбічній ( $\alpha\text{-PbO}_2$ ) та тетрагональній ( $\beta\text{-PbO}_2$ ). Утворення  $\alpha\text{-PbO}_2$  пов'язане з відносно малою кислотністю середовища у внутрішніх шарах (у порах) позитивних електродів, що достатньо добре ілюструє

діаграма Пурбе системи  $\text{Pb} - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  (рис. 3) [2]. Аналіз даної діаграми дозволяє прогнозувати можливі варіанти утворення тієї чи іншої модифікації  $\text{PbO}_2$  при різних значеннях рН середовища. Наприклад, за умови проведення зарядження повністю розрядженої СКАБ, коли концентрація  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в розчині електроліту дуже зменшилась через утворення  $\text{PbSO}_4$  та  $\text{H}_2\text{O}$ , імовірність утворення ромбічної модифікації  $\alpha\text{-PbO}_2$  буде вищою, ніж утворення  $\beta\text{-PbO}_2$ . В той же час імовірність утворення тетрагональної  $\beta\text{-PbO}_2$  буде вищою в періоди зниження рН середовища, тобто коли акумулятор даної електрохімічної системи буде заряджатись у кінцевій фазі процесу заряду.

Крім рН електроліту, впливати на фазовий склад діоксиду свинцю може також швидкість процесу його отримання, тобто густина струму та концентрація солі свинцю в розчині електроліту. Як показано в [1], ромбічна модифікація  $\alpha\text{-PbO}_2$  може отримуватись у чистому виді при рН електроліту 3,8-4,8 (рис. 4) за умови малих густин струму на електроді. Дану особливість необхідно враховувати в кінцеві періоди заряду СКАБ, які проходять при малих струмах.

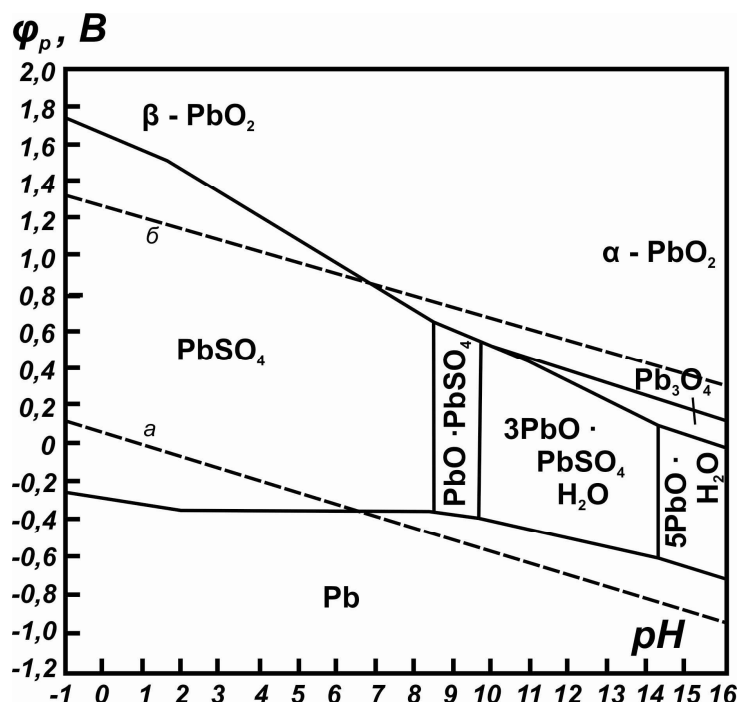


Рис. 3. Залежність рівноважних потенціалів  $\phi_p$  від кислотності розчину рН в системі  $\text{Pb} - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ .

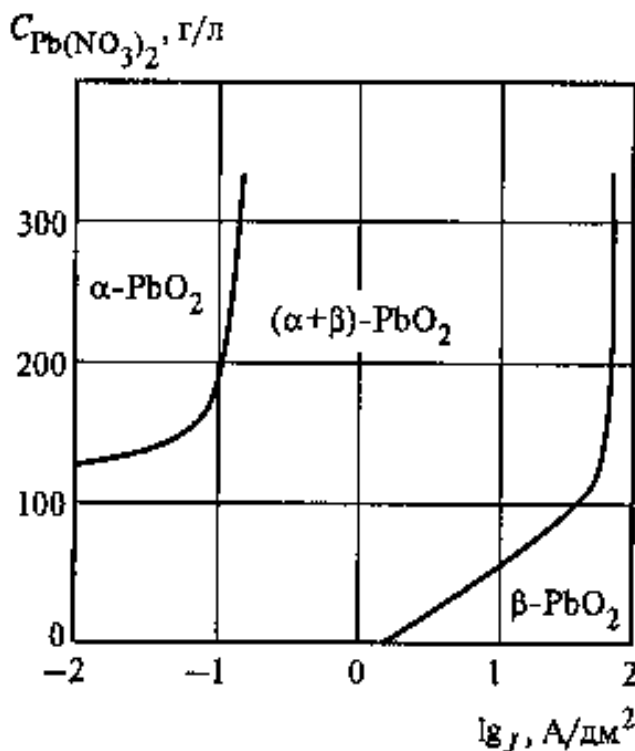
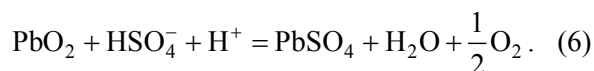


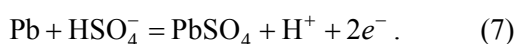
Рис. 4. Вплив умов електроосадження: концентрації  $C_{Pb(NO_3)_2}$  та логарифма густини струму на фазовий склад діоксиду свинцю.

Важливою характеристикою СКАБ є його швидкість саморозряду, і для діоксид-свинцевого електрода вона описується наступним рівнянням:



Швидкість саморозряду даного електрода визначається перенапругою виділення кисню на ньому. Відносно низьке значення перенапруги на  $\alpha$ - $PbO_2$  у порівнянні з  $\beta$ - $PbO_2$  обумовлює більшу швидкість самочинного відновлення даної модифікації. Саморозряд тетрагональної  $\beta$ - $PbO_2$  відбувається удвічі повільніше, ніж саморозряд  $\alpha$ - $PbO_2$ . Враховуючи, що в процесі експлуатації (напрацюванні циклів "заряд-розряд") відбувається поступове перетворення  $\alpha$ - $PbO_2$  у  $\beta$ - $PbO_2$ , швидкість саморозряду даного електрода в цілому зменшується по мірі експлуатації акумулятора.

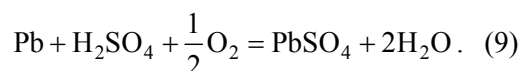
Електрохімічний напівпроцес на свинцевому електроді (аноді) описується наступним рівнянням:



Згідно рівняння Нернста, по мірі заряду даного електрода і акумулятора відповідно відбува-

ється зростання концентрації сульфат-іонів, що в свою чергу приводить до зміщення рівноважного потенціалу у від'ємну сторону.

Саморозряд свинцевого електрода зазвичай визначає саморозряд акумулятора в цілому і описується наступними рівняннями:



Для заряду СКАБ на практиці використовують наступні методи:

- заряд при постійній напрузі є основним методом для АБ, що працюють у циклічному режимі;
- заряд при постійній напрузі та постійному струмі полягає в початковому заряді при струмі  $0,4C_n$ , а потім контролюють величину напруги одиничного елемента, яка до кінця заряду при температурі 20-25°C повинна складати 2,45 В;
- двоступінчастий заряд при постійній напрузі дозволяє скоротити час заряду при переході від робочого режиму в режим очікування, до стану компенсаційного підзаряду при малій величині струму заряду. Даний метод не можна використовувати у випадку, коли бата-

рея працює в буферному режимі з навантаженням (тобто якщо навантаження з'єднане паралельно з батареєю);

- компенсуючий заряд найчастіше застосовують на заключній стадії процесу заряду. Можливе його використання як основного при роботі свинцево-кислотних АБ в режимі очікування;

- плаваючий заряд – це метод заряду, при якому акумуляторна батарея під'єднана паралельно до навантаження і зарядження проводиться постійно;

- багатоступінчастий заряд відбувається в три етапи: заряд постійним струмом, основний заряд та компенсуючий заряд;

- відновлюючий заряд використовується у випадках глибокого розряду АБ. Його необхідно проводити якомога швидше, оскільки зберігання сильно розрядженої свинцево-кислотної батареї призведе до сульфатації її пластин і зниження ємності або навіть до повного виходу з ладу;

- імпульсний заряд прямокутними імпульсами дозволяє прискорити процес формування електродних матеріалів у АБ;

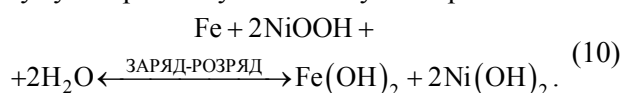
- асиметричний імпульсний заряд має двофазний характер і складається з трьох компонентів: імпульсу, що власне заряджає, наступного за ним короткого імпульсу оберненої спрямованості, що деполяризує, і періоду, що стабілізує.

Як показує практика, в існуючих системах електроживлення на основі вітро- та фотоелектричних установок найчастіше використовують традиційні зарядні пристрої, що проводять зарядження акумуляторних батарей при постійній напрузі [3]. Однак для зарядження електромобілів даний метод є актуальним зазвичай у нічний період, коли власник електричного транспортного засобу не користується ним. Однак у випадках руху електромобілів на значні відстані із обмеженням часу на подолання заданої відстані нічного заряду може не вистачити, і в такому випадку необхідне застосування методів швидкого зарядження акумуляторних батарей від вітроелектричних, фотоелектричних чи комплексних зарядних станцій. Реалізація швидкого заряду можлива за умови наявності достатньої потужності джерела, однак на

практиці виникають ситуації, коли вихідна потужність установок на основі відновлюваних джерел енергії є недостатньою для здійснення процесу швидкого заряду (відсутність або неномінальні значення відновлюваних енергоресурсів, а саме швидкості вітру чи інтенсивності сонячної радіації), а енергія, що виробляється в таких умовах, може бути недостатньою для здійснення швидкого заряду. Дане питання потребує більш глибокого аналізу та пошуку нових методів зарядження та технічних рішень [4, 5].

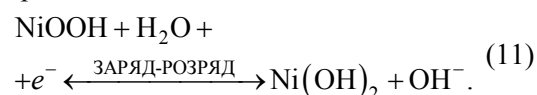
**Особливості роботи лужних нікель-залізних акумуляторних батарей.** Подальший пошук альтернативних варіантів надійного акумулятора для електромобіля з метою покращення технічних, енергетичних та екологічних характеристик автономного джерела живлення припадає на відкриття Томаса Едісона в 1901 р., коли ним було створено нікель-залізне вторинне джерело енергії. Вже на початку ХХ століття даний тип акумуляторів почали використовували для таких електромобілів, як *Detroit Electric* та *Baker Electric* [6].

Електрохімічна система нікель-залізного акумулятора складається з окисно-нікелевого катода, залізного анода та лужного електроліту. Основний струмоутворюючий процес даного акумулятора описується наступним рівнянням:



На відміну від свинцево-кислотної АБ, в нікель-залізних (НЗ) акумуляторах по мірі проходження процесу розряду відбувається витрата води, в той час як власне електроліт (зазвичай використовують луги NaOH або KOH) відповідає лише за перенесення заряду через межу поділу фаз "провідник першого роду – провідник другого роду".

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

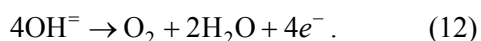


Механізм даного напівпроцесу є значно складнішим, що обумовлено, в першу чергу,

твердофазним характером процесу, існуванням  $\beta$ - та  $\gamma$ -модифікацій  $\text{NiOOH}$ , а також утворенням при зарядженні оксидів зі ступенем окислення нікелю більше ніж +3.

Електропровідність гідрооксиду  $\text{NiOOH}$  значно вища електропровідності  $\text{Ni(OH)}_2$ , тому процес відновлення  $\text{NiOOH}$  потрібно вести не більше, ніж на 80%. Модифікація  $\beta$ - $\text{NiOOH}$  має однакову з  $\beta$ - $\text{Ni(OH)}_2$  гексагональну кристалічну решітку, тому при заряді та розряді не відбувається зміни решітки і деформації електрода. При високих концентрація луку або високих зарядних струмах можливе утворення  $\gamma$ - $\text{NiOOH}$ , який має меншу густину та викликає набухання (збільшення об'єму, роздування) електрода.

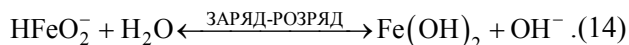
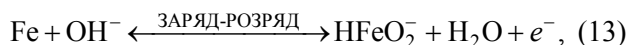
Після отримання близько половини зарядної ємності на оксидно-нікелевому електроді розпочинається побічний процес із виділенням кисню за наступною реакцією:



Вищі оксиди нікелю, утворення яких має місце при зарядженні нікель-залізного акумулятора, після закінчення відміченого процесу починають поступово розкладатися з виділенням кисню, що є однією з причин швидкого саморозряду свіжозаряджених оксидно-нікелевих електродів.

Для виготовлення анода нікель-залізного акумулятора використовуються гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

або магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), а також термічно відновлене залізо. Напівпроцес на аноді описується наступними рівняннями:



Складність анодного процесу пояснюється діаграмою Пурбе системи  $\text{Fe} - \text{H}_2\text{O}$ . (рис. 5) [7]. Аналіз даної діаграми дозволяє прогнозувати можливі варіанти утворення тієї чи іншої форми гідрооксиду заліза ( $\text{Fe(OH)}_2$  чи  $\text{Fe(OH)}_3$ ) в залежності від зміни pH середовища, або потенціалу на електроді. Зокрема, заряд анода необхідно проводити будь-яким із застосовуваних методів за умови, що pH приелектродного простору буде більше 9,5, а зміна потенціалу електрода коливатись у межах (мінус 0,4 ÷ мінус 1,1) В. При більш високих значеннях потенціалу (до +0,4 В) на електроді можливе окислення заліза до ступеня окислення +3 з утворенням трьохосновного гідрооксиду  $\text{Fe(OH)}_3$ , а при більших електродних потенціалах у заданому діапазоні pH можливе утворення аніонів  $\text{FeO}_4^{2-}$ , що в кінцевому результаті призводитиме до можливого виходу з ладу анода. Дану особливість необхідно враховувати при виборі методу зарядження та специфіки роботи джерела енергії, від якого здійснюватиметься заряд.

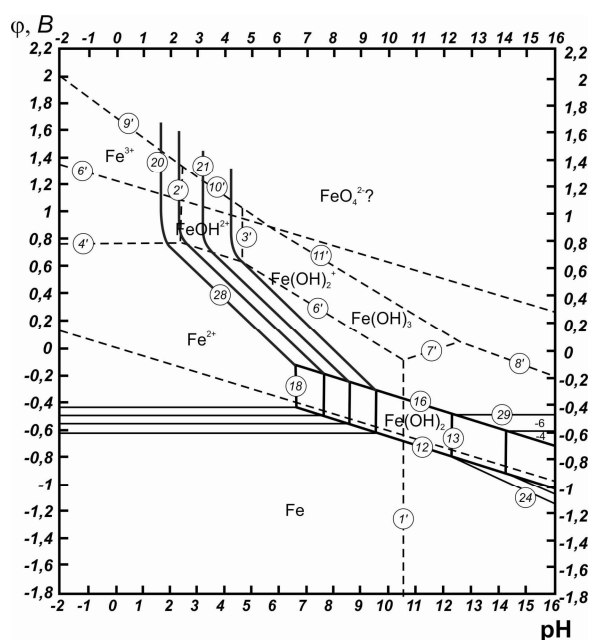
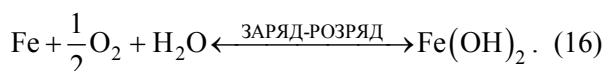
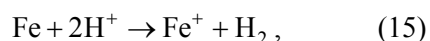


Рис. 5. Залежність рівноважних потенціалів  $\varphi_p$  від кислотності розчину pH в системі  $\text{Fe} - \text{H}_2\text{O}$ .

Залізний електрод схильний до самочинного розчинення в розчинах лугів з виділенням водню, що обумовлює значний практичний саморозряд даного акумулятора. Крім реакції з виділенням водню, можливий самочинний процес із поглинанням кисню. В загальному випадку процеси саморозряду на залізному електроді описуються наступними рівняннями:



Згідно даних С.О. Розенцвейга, саморозряд залізного електрода складає приблизно 40% за місяць для чистих матеріалів та доходить до 80% для технічного заліза.

До позитивних моментів використання лужного акумулятора як тягового джерела електротранспорту є те, що всі компоненти, які утворюються в процесі заряду і розряду, практично нерозчинні в електроліті і не вступають в будь-які хімічні реакції.

НЗАБ можуть тривалий час перебувати в напівзарядженому і навіть у повністю розрядженому стані, що абсолютно неприпустимо для СКАБ. Лужні акумулятори мають велику переважувальну здатність, тобто можуть працювати з великими струмами при розрядах і зарядах. Завдяки великому внутрішньому опору короткочасне замикання і глибокі розряди не виводять із ладу ці акумулятори.

Для зарядження нікель-залізних АБ на практиці використовують наступні методи:

1. Згідно [8] заряд лужних нікель-залізних акумуляторів проводять:

- при постійному струмі  $(0,2-0,25)C_n$  протягом 6-7 год. Закінчення заряду настає при напрузі на кожному елементі 1,75-1,9 В, при цьому розпочинається інтенсивне "кипіння" електроліту в усіх елементах. Під час заряду потрібно стежити за тим, щоб температура електроліту не перевищувала  $+40^\circ\text{C}$ . Для зниження температури зменшують зарядний струм;

- при постійній напрузі 1,5-1,9 В протягом 6-7 год.

2. Посилений заряд лужних нікель-залізних акумуляторів проводять при 12-годинному режимі номінальним зарядним струмом  $0,25C_n$ . Даний режим застосовують:

- при введенні в експлуатацію акумулятора;
- через кожні десять циклів "заряд-розряд" і раз на місяць у разі нерегулярної роботи акумулятора;
- після заміни електроліту в акумуляторі;
- після глибокого розряду нижче допустимого кінцевого значення напруги;
- після заряду слабким струмом, який проводився з перервами 16 годин і більше.

3. Прискорений режим зарядження 2,4 години силою струму в два рази більше номінальної і 2 години – номінальною силою струму.

- імпульсний заряд прямокутними імпульсами дозволяє прискорити процес формування електродних матеріалів у АБ;
- асиметричний імпульсний заряд має двофазний характер і складається з трьох компонентів: імпульсу, що власне заряджає, наступного за ним короткого імпульсу оберненої спрямованості, що деполяризує, і періоду, що стабілізує.

Застосування прискорених режимів заряду від установок на основі відновлюваних джерел енергії потребує додаткових досліджень не тільки через стохастичну особливість роботи даних джерел енергії, але й через фактор інтенсивного газовиділення при заряді даних АБ високими струмами.

В роботі [9] запропонований спосіб заряду НЗ батарей двоступінчастим струмом постійної величини з контролем ступеня заряду і з перемиканням струму заряду в залежності від температури і напруги батареї, заснований на результатах випробувань тепловозних НЗ батарей на стенді і на тепловозі, спрямований на збільшення терміну служби цих батарей. В результаті проведених експериментів та теоретичного аналізу визначено, що для заряду тепловозних НЗ батарей в експлуатації раціональним є заряд номінальним струмом, чисельно рівним  $0,25C_n$  з переходом на струм  $0,04C_n$  при ступенях заряду 0,7-0,8 від номінальної ємності батареї. Проте даний метод не може застосовуватись за умови обмеження часу заряду акумуляторів даної електрохімічної системи.

Застосування нікель-залізних акумуляторних батарей на електротранспорті актуальне, однак зарядження акумуляторів розглянутими вище методами базується на використанні стаціонарного джерела живлення. Заряд даних акумуляторів від станцій на основі відновлюваних джерел енергії (вітро-електричних, фотоелектричних чи комплексних) досліджений не в повній мірі. У випадках руху електротранспортних засобів на значні відстані з обмеженням часу на подолання заданої відстані можливе виникнення необхідності у застосуванні швидкого зарядження акумуляторних батарей від станцій на основі ВДЕ. Різні режими роботи електротранспортних засобів з нікель-залізними АБ ставлять питання пошуку можливих нових варіантів зарядження та технічних рішень для їх реалізації з урахування специфіки роботи стохастичних джерел виробітку електричної енергії та забезпечення показника гарантованого заряду.

**Висновки.** 1. Широке використання свинцево-кислотних та нікель-залізних акумуляторних батарей на електромобілях різного функціонального призначення стимулює пошук нових методів зарядження даних акумуляторних батарей, в тому числі і від установок на основі відновлюваних джерел енергії.

2. При розробленні зарядних станцій електромобілів на основі відновлюваних джерел енергії необхідне комплексне вирішення питань, що враховуватимуть: режими роботи транспортного засобу, специфіку методу зарядження та можливості його реалізації на установках зі стохастичним виробітком енергії, специфіку електрохімічних процесів, що реалізуються в тій чи іншій електрохімічній системі під час циклу "заряд-розряд".

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

2. *Дасоян М.А., Азиф И.А.* Современная теория аккумулятора. Л., "Энергия", 1975. – 312 с.

3. *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.

4. *Метод зарядки* химических источников тока в со-

ставе фотоэлектрической установки / В. А. Дзензерский, С. В. Плаксин, Н. Е. Житник, Л. М. Погорелая // Электротехника та електроенергетика. – 2009. – № 2. – С. 73 – 77.

5. *Бекиров Э.А.* Некоторые условия оптимального отбора энергии фотобатарей и электрохимических аккумуляторов в нагрузку / Э. А. Бекиров, В. Ф. Резцов, Т. В. Суржик, В. И. Шевчук // Відновлювана енергетика. – 2007. – № 1. – С. 20 – 23.

6. *BU-1002: Electric Powertrain, then and now.* [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://batteryuniversity.com/learn/article/batteries\\_for\\_transportation\\_aerospace](http://batteryuniversity.com/learn/article/batteries_for_transportation_aerospace).

7. *Справочник химика.* Том 3. Химическое равновесие и кинетика, свойства растворов, электродные процессы / Под ред. Б.П. Никольского — М.-Л.: Химия, 1965 – 1005 с.

8. *Аккумуляторы щелочные* никель-железные тяговые общие технические условия ГОСТ 26500-85 Издание официальное. Издательство стандартов. Москва 1985, 28 с.

9. *Каусс Я.Я.* Выбор режимов заряда щелочных никель-железных тепловозных батарей: дис. канд.тех.наук: 05.05.01 / Янис Янович Каусс ; Ленинградский Ордена Ленина Институт инженеров железнодорожного транспорта имени академика Н.В.Образцова. – Л., 1984. – 138 с.

#### REFERENCES

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

2. *Dasoyan M.A., Ahuf I.A.* Modern theory accumulator. L., "Energy", 1975. – 312 p.

3. *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.

4. *The method of charging chemical sources conductors in fotoelektrycheskoy proof installation* / V.A. Dzenzersky, S.V. Plaksyn, N.E. Zhytnik, L.M. Pohorelaya // Electronics and electricity. – 2009. – № 2. – P. 73 – 77.

5. *Bekirov E.A.* Some conditions for the optimal selection of the energy of photobatars and electrochemical accumulators in a load / E.A. Bekirov, V.F. Reztsov, T.V. Surzhik, V.I. Shevchuk // Energetics. – 2007. – №1. – P. 20 – 23.

6. *BU-1002: Electric Powertrain, then and now.* Internet resource. Access mode: [http://batteryuniversity.com/learn/article/batteries\\_for\\_transportation\\_aerospace](http://batteryuniversity.com/learn/article/batteries_for_transportation_aerospace).

7. *Handbook of the chemist.* Volume 3. Chemical equilibrium and kinetics, properties of solutions, electrode processes, Ed. B.P. Nikolsky – М.-Л.: Chemistry, 1965 – 1005 p.

8. *Accumulators alkaline* nickel-iron traction general specifications GOST 26500-85 Official edition. Publishing house of standards. Moscow 1985, 28 p.

9. *Kauss J.J.* Choice of charge modes for alkaline nickel-iron diesel batteries: dis. Cand. Tech. Sciences: 05.05.01 / Janis Janovich Kauss; Leningrad Order of Lenin Institute of Railway Transport Engineers named after academician N.V. Obraztsov. – L., 1984. – 138 p.



**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 свинцово-кислотных и никель-железных аккумуляторных батарей**

*В работе рассмотрены теоретические вопросы электрохимических превращений в свинцово-кислотных и никель-железных аккумуляторных батареях. Проанализировано влияние применения различных режимов зарядки аккумуляторных батарей на их технические характеристики. Отмечена необходимость более глубокого анализа и исследования процессов зарядки аккумуляторных батарей от установок на основе возобновляемых источников энергии с целью учета фактора случайности при разработке и проектировании автономных зарядных станций электромобилей. Библ. 9, рис. 5.*

**Ключевые слова:** аккумуляторная батарея, электромобиль, фотоэлектрическая станция, ветроэлектрическая станция, 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 lead-acid and nickel-iron batteries**

*The work has been devoted to the theoretical question of electrochemical changes in lead-acid and nickel-iron batteries. The influence of the use of different modes of charging batteries on their specifications. The noted the need for more in-depth analysis and research processes of charging battery systems based on renewable energy, in order to reflect the randomness factor in the development and design of autonomous eletromobiles charge stations. References 9, figures 5.*

**Keywords:** the battery, electromobile, photovoltaic plant, wind power plant, charge mode.

SYNOPSIS

This work is devoted to the analysis of lead-acid and nickel-iron electrochemical batteries used in electric transport vehicles of different functions. It is noted that these classical methods of charging the traction power supply based on use at a charge of electricity from the central grid. Given the specifics of elektrotranspornyh means, 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 charging stations based on 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 transport vehicles.

Стаття надійшла до редакції 14.03.17

Остаточна версія 16.03.17

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

**7-9**  
**листопада**

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

**МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**  
Україна, Київ, Броварський пр-т, 15  
☎ +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.mvc.ukp](http://www.mvc.ukp)  
[www.tech-expo.com.ua](http://www.tech-expo.com.ua)