



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-34

УДК 620.9

О. Ю. Юрченко, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-3047-6654

Г. В. Барсукова, к.т.н, доц.

ORCID: 0000-0002-4261-2182

Сумський національний аграрний університет

e-mail: aleksyurchenko110917@gmail.com, тел.: 096-610-67-82

ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ КОМПЛЕКСНИМ ПІДХОДОМ

Анотація. Відновлення та обслуговування джерел живлення, в даному випадку, акумуляторних батарей – невід’ємна частина їх життєвого циклу. Від цього залежить їх термін роботи та якість електричної енергії, яку вони передають. Під якістю мається на увазі кількість заряд-розрядів, ємність тощо. Відпрацьований акумулятор має бути утилізованим, що сьогодні є дорогою опцією. Однак, альтернатива у вигляді відновлення акумулятора має одразу кілька переваг. Цим пояснюється, перш за все, унеможливлення негативного впливу на навколишнє середовище, менші фінансові затрати, можливість повторного використання енергетичного ресурсу. У даній роботі представлено метод відновлення акумуляторної батареї низьким струмом та паралельними заряд-розрядами. Результати експериментів довели ефективність використання такої методики для приведення в роботоздатний стан відпрацьованого та недієздатного акумулятора.

Ключові слова: акумулятор, трансформатор, сульфатація, з’єднання провідників, лампа, кислота.

Постановка проблеми. В умовах ХХІ століття, коли питанням зниження негативного впливу на навколишнє середовище віддають чи не найбільшу перевагу, особливе місце посідає вторинне використання тих чи інших енергоресурсів. До речі, питання вторинного використання стосується не лише енергоресурсів, а і будь-яких речовин, порід, матеріалів тощо. Слід зауважити, що можливість такого вторинного використання не завжди має своє місце через відсутність як обладнання для відновлення енергоресурсу, так і фінансової складової.

Сучасних користувач техніки щодня бачить безліч пристроїв, де джерелом живлення є акумуляторна батарея. Однак, вихід з ладу такого елемента може звести нанівець роль пристрою через неможливість його запуску і подальшого використання.

Нерідко причиною виходу з ладу акумуляторної батареї є



невикористання її протягом довгого періоду часу. Скажімо, трьохчотирьох років. Такого періоду часу достатньо для того, або акумулятор, наприклад, світильника повною мірою перейшов у неробочий стан, що буде показано нижче в методології проведення досліджень даної роботи. Стосується це не лише акумуляторних батарей освітлювальних пристроїв, а і автомобільних акумуляторів і т.п.

Сульфатація – це, свого роду, стан акумуляторної батареї, за якого робоча поверхня даного акумулятора пластин покривається шаром сульфатної плівки. Причиною цьому може бути глибокий розряд, за якого напруга на акумуляторі зменшується. А це може бути наслідком, якраз тривалого невикористання, у тому числі випаровування електроліту, коли пластини залишаються сухими і вкриваються плівкою.

Тому, питання відновлення акумуляторної батареї є актуальним завданням з точки зору як зниження негативного впливу на навколишнє середовище (утилізація використаних АКБ), так і з точки зору фінансової складової – закупка нового акумулятора.

Аналіз останніх досліджень. Розширення можливостей енергетики, особливо альтернативної, може призвести до значного скорочення використання традиційних джерел енергії, а також зменшення забруднення навколишнього середовища [1]. Кількість відпрацьованих акумуляторів, що постійно зростає, викликала зростаючі побоювання з приводу ризику поставки сировини для виробництва акумуляторів і впливу відпрацьованих акумуляторних батарей на навколишнє середовище. Переробка акумуляторів є ідеальним рішенням для створення багатства з відходів, але розробка технологій переробки акумуляторів вимагає значних зусиль. Нещодавно пряме відновлення відпрацьованих акумуляторів зробило замкнутий цикл циркуляції електротехнічних матеріалів завдяки прямому використанню деградованих активних матеріалів як сировини для виробництва свіжих активних матеріалів. Таким чином, його основне стало використання меншої кількості хімічних речовин і витрат на енергію все більше привертає увагу спільноти акумуляторів [2]. Крім того, відновлення електроліту рідко розглядається в сучасних методах переробки акумуляторів, а скоріше випаровується та неконтрольовано розкладається під час етапів попередньої обробки. Проте контрольоване та безпечне видалення електроліту є неминучим і дуже важливим для галузі переробки для мінімізації впливу процесів переробки на навколишнє середовище шляхом запобігання серйозним загрозам, спричиненим легкозаймистими, токсичними та небезпечними компонентами електроліту [3].

Актуальність питання відновлення акумуляторних батарей



виправдовується не лише з точки зору відновлення самих АКБ, а і електроліту для них. Останнім часом відновлення електроліту привертає увагу науковців і промисловців, і було досліджено кілька підходів, таких як екстракція надкритичною рідиною, екстракція розчинником і вакуумна дистиляція. В літературі описано, що коливання ємності можуть істотно повпливати на точність прогнозування розрядної ємності батареї. Основна причина коливання ємності, ймовірно, пов'язана з перерозподілом заряду, коли батарея більше не заряджається або не розряджається. Потім батарея прагне відновити новий стан електрохімічного балансу, що представлений як відновлення поляризації [4]. Тому, результати досліджень показують, що загальні витрати на збір і переробку сильно залежать від доступності батарей в майбутньому, при цьому передові витрати перевищують передові доходи, коли доступність відпрацьованих батарей знижується [5]. Для прикладу, літій-іонні акумулятори багаті цінними металами (кобальтом і літієм), які мають високу вартість переробки. Існуючий процес, в основному, реалізує вилучення кобальту, але все ще має недоліки в безшкідливості утилізації фтороутворюючого електроліту, додаткових та інших органічних речовин, селективному вилученні літію та малозатратному вилученні кобальту. У зв'язку з цим було розроблено новий процес повної регенерації відпрацьованих батарей за допомогою екологічно безпечного піролізу та гідрометалургійної обробки [6]. Гідрометалургійний процес є традиційним методом переробки цінних металів з відпрацьованих акумуляторів [7]. Як правило, відпрацьовані АКБ розбирають і подрібнюють для отримання катодного порошку, який містить більшу частину цінних металів. Однак, представлені в роботах [8-10] методи відновлення акумуляторів показують ефективність та результат для їх повторного використання.

Формулювання мети статті. Метою даної роботи є визначення параметрів перебігу процесу відновлення акумуляторної батареї малим струмом, серед яких:

- час перебігу процесу;
- параметри системи;
- пристрої, необхідні для здійснення процесу;
- опис усього процесу відновлення акумуляторної батареї з зображеннями як схем, так і реакцій.

Основна частина. Процес відновлення акумуляторної батареї є досить складним процесом з точки зору того, що зняття сульфатації відбувається протягом тривалого проміжку часу, а можливості демонтажу пластин немає. Тому, серед небагатьох способів зняття сульфатації на пластинах акумуляторної батареї є спосіб впливу на них малим струмом з паралельним її розрядом.

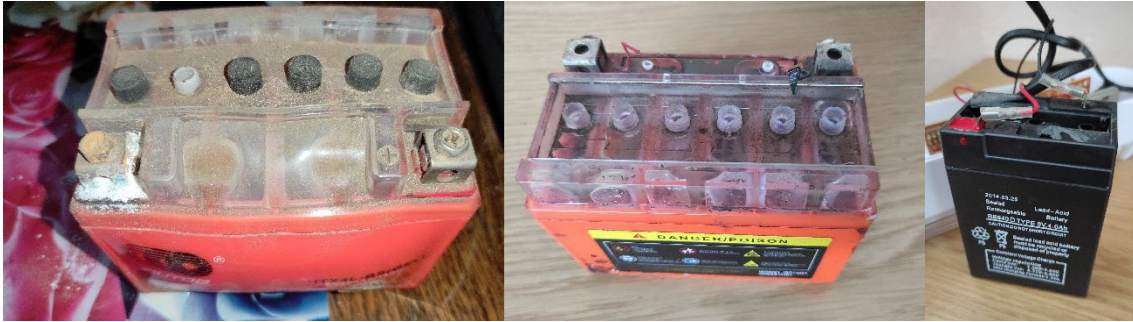


Рисунок 1. Досліджувані АКБ

Як було вказано вище, сульфатація є складними відкладенням на платинах акумуляторної батареї. Дослідження електроліту, узятого з такого акумулятора показали рідину із наявними в ній відносно дрібними частинами (рисунок 2А). Розміри таких частин склали 0,2 – 0,4 мм. Однак, окремі з них мали розміри до 1 мм. Очевидно, що найбільш легкі та краще відокремлювані частки від'єдналися від «сульфатованих» пластин, зображених а рисунку 2Б в процесі видалення електроліту і лише окремі з великих часток (до 1 мм) від'єдналися внаслідок фізичного впливу на них.

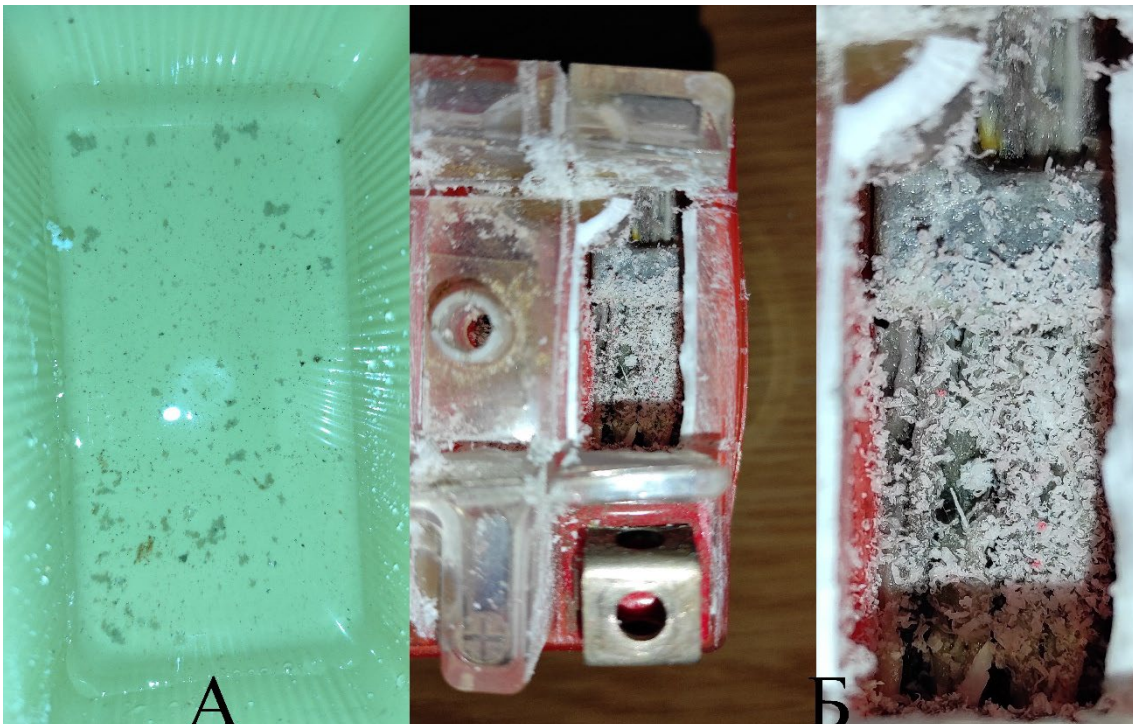


Рисунок 2. Досліджуваний відпрацьований акумулятор. А – електроліт; Б – сульфатовані пластини АКБ

Для проведення експериментальних досліджень по відновленню акумуляторної батареї використано акумулятор RB640D 6В 4А

(рисунок 3А) світильника ЛБА 3923 (рисунок 3Б) компанії ІЕК.

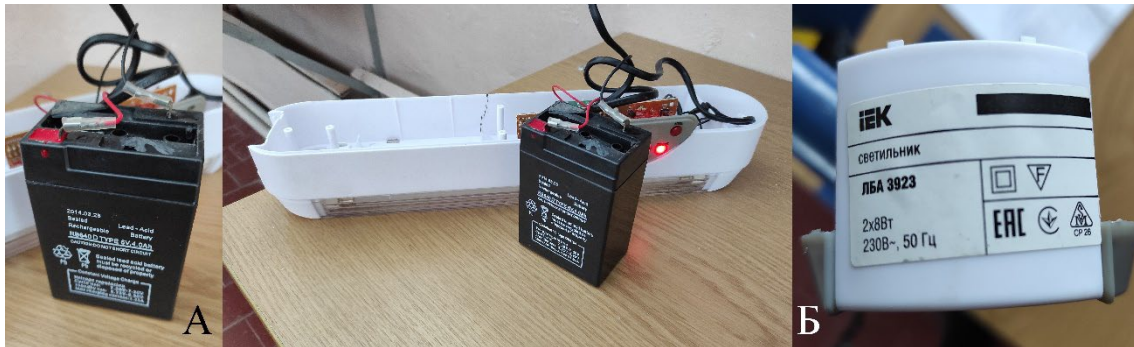


Рисунок 3. А – акумуляторна батарея RB640D; Б – світильник ІЕК ЛБА 3923

Очевидною ознакою нероботоздатності акумуляторної батареї, зображеної на рисунку 3А, була відмова роботи світильника. При першому візуальному огляді АКБ виявлено сульфатацію пластин, що помітно навіть неозброєним оком, враховуючи те, що акумулятор повністю закритий за винятком пробок. Попередні заміри напруги показали взагалі нульові показники. В результаті додавання електроліту, напруга на клеммах акумулятора зросла до показника 5,93В. Подальші спроби заряду акумулятора за допомогою пристрою зі світильника не призвели до жодних результатів.

Методика відновлення акумуляторної батареї може бути різною. Проте, в результаті численних експериментів проведених в лабораторних умовах виявлено, що найбільш ефективним способом є паралельні заряд та розряд акумуляторної батареї. Як було указано вище, жодна зі спроб заряду не була ефективною.

Наступним етапом експериментального дослідження була спроба розряду батареї. Звичайно, тієї ємності, що була наявною на той момент, для роботи світильника було недостатньо, але можливість підключення і хоча би мерехтіння порівняно слабшої лампи була, що і підтверджено експериментальними дослідженнями. Підключення лампи 6,3В на проміжок 15 хвилин призвело до падіння напруги на клеммах до 4,1В, що було достатнім для проведення наступної серії зарядів акумулятора. Нижче, на рисунку 4, показано графік падіння напруги на клеммах акумулятора за проміжок 15 хвилин з навантаженням у вигляді лампи 6,3В.

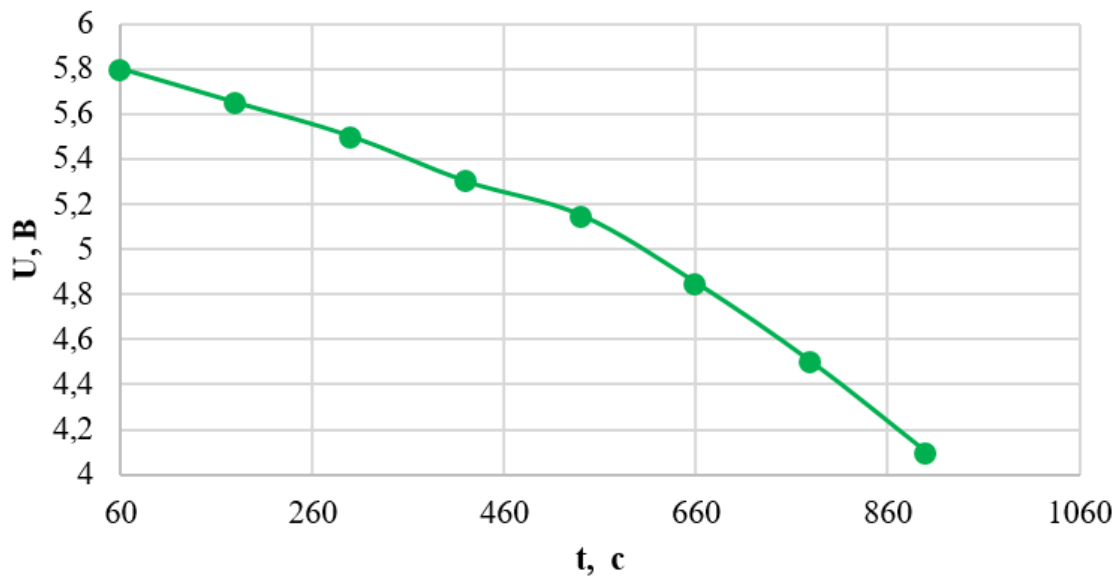


Рисунок 4. Графік падіння напруги на акумуляторі на проміжку 15 хв

Із рисунку 4 видно, що падіння напруги відбувалося зі збільшенням швидкості перебігу процесу. Як висновок до проведеного етапу дослідження можна було б указати те, що даний розряд акумулятор був точкою відліку в процесі відновлення. Після розряду до 4,1В підключення акумулятора до стаціонарного зарядного пристрою світильника майже не змінює напругу. Відбувається малошвидкісний заряд, якого недостатньо для світіння світильника.

Як було указано вище, комплексний підхід базується на одночасних заряді і розряді акумулятора протягом довгого проміжку часу за малої сили струму. Такий процес досягається підключенням мало потужного, зібраного власноруч трансформатора, навантаження у вигляді одразу двох ламп та лабораторного трансформатора. Розглянемо роль і місце кожного з указаних елементів більш детально. Зарядний пристрій трансформаторного типу малої потужності хоч і є ефективним для використання з малим струмом, але за мету ставиться отримання струму 0,2 – 0,4А, чого не можна було ним досягти. З цією метою використовується лабораторний автотрансформатор. Підключені одразу дві лампи дають одночасний розряд акумулятору в процесі заряду. Одну з ламп – 6,3В підключено послідовно, так як зарядний пристрій 12В, а вмикання лампи в схему на клемі «-» забезпечило отримання напруги на затискачах зарядного пристрою 6,5В.

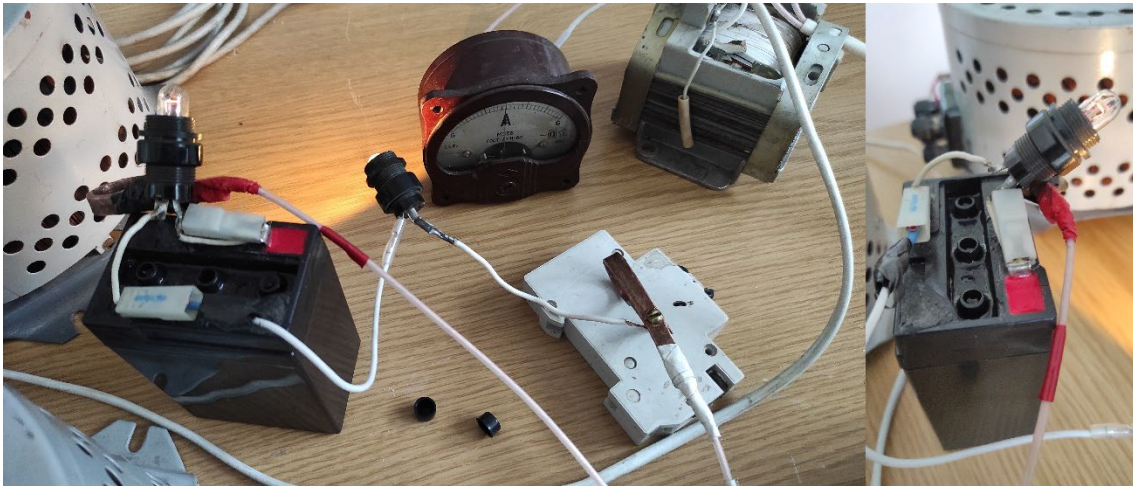


Рисунок 5. Зібрана експериментальна установка

Заряд акумулятора з паралельним його розрядом здійснювався протягом 20 днів за сили струму $0,2 - 0,4\text{A}$. Відмінною ознакою процесу відновлення було зменшення падіння напруги кожного дня, в порівнянні з попереднім за проміжок часу 10 год, доки зарядний пристрій було вимкнено.

Слід зауважити, процес заряду навіть за сили струму $0,2 - 0,4\text{A}$ супроводжувався постійним виділенням бульбашок з банок акумулятора.

На рисунку 7 показано процес виділення бульбашок у момент заряду акумулятора. Згодом, швидкість такого процесу було зменшено за рахунок установки додаткової лампи, що була, свого роду, навантаженням. Процес знизився одразу у 4 рази, однак повністю не припинився.

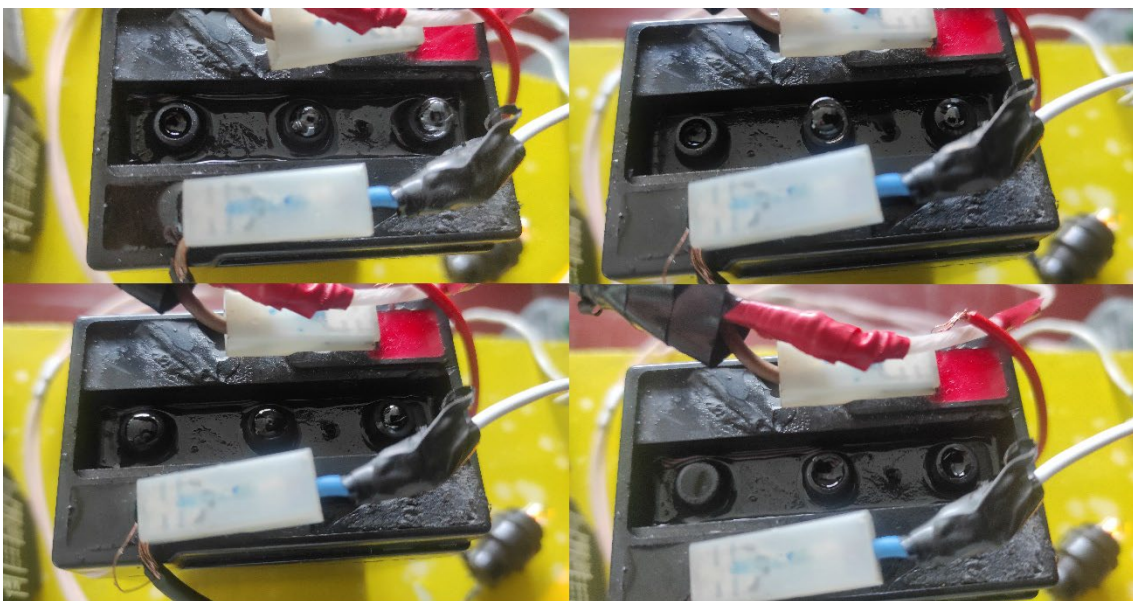
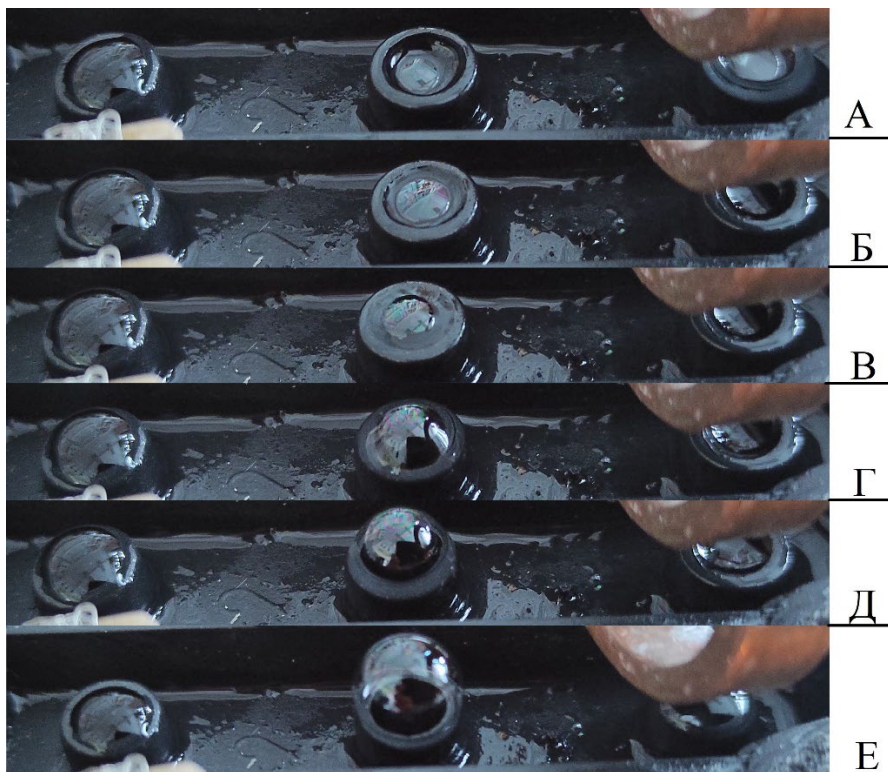


Рисунок 6. Виділення бульбашок



А – 5 сек.; Б – 10 сек.; В – 15 сек.; Г – 20 сек.; Д – 25 сек.; Е – 30 сек.

Рисунок 7. Цикл 30 сек. виділення бульбашок при заряді АКБ

Таблиця 1

Показники відновлення акумуляторної батареї

Доба, № п/п	Показання вольтметра заряд/розряд, В	Падіння напруги, В
1	5,95/5,4	0,55
2	5,98/5,4	0,58
3	6/5,5/5,5	1
4	6,02/5,6	0,42
5	6,02/5,7	0,32
6	6,05/5,8	0,25
7	6,05/5,9	0,6
8	6,08/5,98	0,15
9	6,09/6	0,09
10	6,1/6	0,1
11	6,17/6,10	0,07
12	6,28/6,18	0,1
13	6,35/6,23	0,12
14	6,4/6,3	0,1
15	6,4/6,3	0,1
16	6,45/6,37	0,08



Продовження таблиці 1

17	6,45/6,4	0,05
18	6,5/6,4	0,1
19	6,5/6,41	0,09
20	6,5/6,45	0,05

Протягом усього часу проведення дослідження відбулося зменшення падіння напруги, тобто мимовільного самостійного розряду.

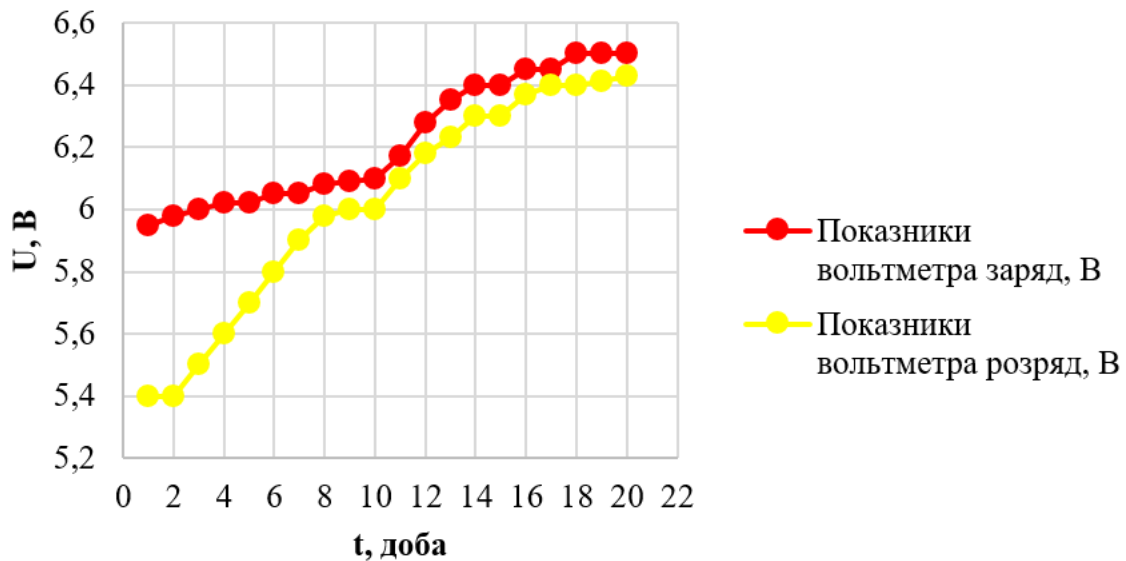


Рисунок 8. Графік заряд-розрядів акумулятора

Графіки, представлені на рисунку 8, показують перебіг реакції відновлення акумулятора з точки зору сприйняття ним заряду та мимовільного його розряду щодня за проміжок часу 14 годин – заряд, 10 годин – вимкнений стан. З даних двох залежностей можна зробити висновок щодо відновлення роботоздатного стану акумулятора виходячи з отримання двох паралельних залежностей по заряду і розряду, а також вирівнювання лінії заряду на показнику 6,5В.

Графік падіння напруги, зображений на рисунку 9, маючи пульсуючі зміни, набуває більш прямого значення, що означає те, що у акумулятора, починаючи із восьмої доби експериментів, значно зменшився показник розрядів, тобто, у даному випадку, мимовільного самостійного розряду. Для порівняння, за першу третину часу експериментів розряд акумулятора сягав показника 1В, що є критичним для акумуляторної батареї з напругою 6В.

Після 15 днів експерименту встановлено, що напруга на клеммах акумулятора одразу після заряду 14 годин складала 6,5 В, а за проміжок 10 годин мимовільного розряду, - знижувалася до 6,45 В. Одразу, візуально помітно значно меншу сульфатацію на банках і можливість

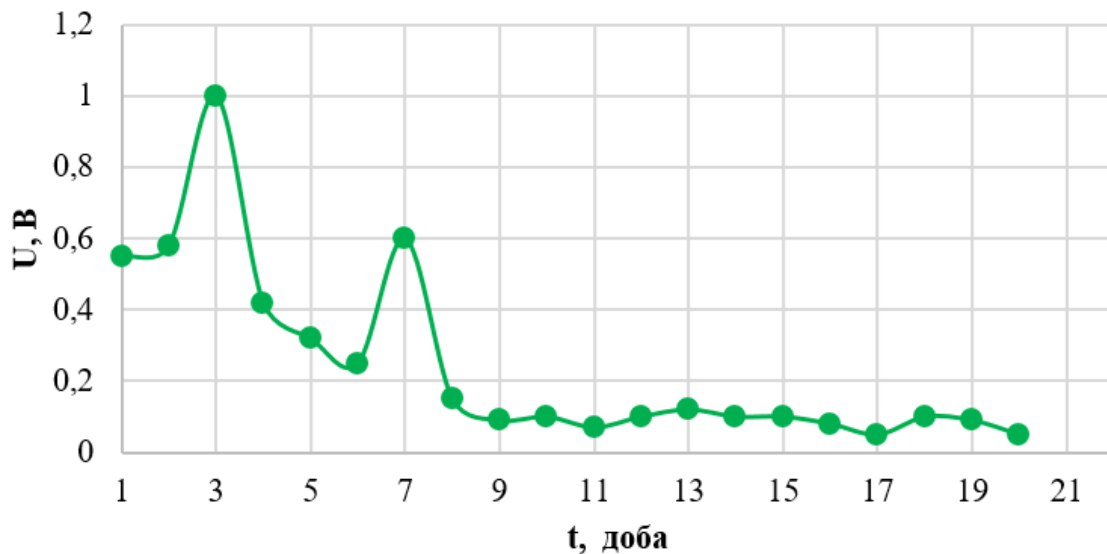


Рисунок 9. Графік падіння напруги на акумуляторі на проміжку 20 діб

роботи світильника від даного акумулятора. Звичайно, до ідеального стану даний акумулятор відновити було б проблематично, але методика довготривалого заряду з паралельним розрядом акумуляторної батареї показала результат відновлення АКБ до повністю робочого стану.

Висновки. Отже, в ході експериментальних досліджень встановлено та підтверджено можливість відновлення акумуляторних батарей шляхом паралельних заряд-розрядів протягом тривалого проміжку часу. Зростає термін робочого циклу акумуляторної батареї та зменшується негативний вплив на навколишнє середовище через питання утилізації використаних акумуляторів і фінансової складової на закупку нового обладнання.

Список використаних джерел

1. Юрченко, О. Ю., Барсукова, Г. В., Тимошенко, Г. А. (2022). Розробка лопаті вітроенергетичної установки для районів з низькою швидкістю вітру. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*, (2(48)), С. 94–100. <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.14>

2. Jiawei Wu, Mengting Zheng, Tiefeng Liu, Yao Wang, Yujing Liu, Jianwei Nai, Liang Zhang, Shanqing Zhang, Xinyong Tao. Direct recovery: A sustainable recycling technology for spent lithium-ion battery. *Energy Storage Materials*. Vol. 54, January 2023, P. 120–134 <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2022.09.029>

3. Zachmann, N., Petranikova, M., Ebin, B. Electrolyte recovery from spent Lithium-Ion batteries using a low temperature thermal treatment process. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Vol. 118, 25 February 2023, P. 351–361 <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.11.020>



4. Tong, Z., Miao, J., Mao, J., Wang, Z., Lu, Y.J. Prediction of Li-ion battery capacity degradation considering polarization recovery with a hybrid ensemble learning model. *Energy Storage Materials*. Vol. 50, September 2022, P. 533–542 <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2022.05.026>
5. Iloeje, C. O., Xavier, A. S., Graziano, D. J., Atkins, J., Sun, K., Cresko, J., Supekar, S. D. A systematic analysis of the costs and environmental impacts of critical materials recovery from hybrid electric vehicle batteries in the U.S. *iScience*, Vol. 25, Issue 9, 16 September 2022, 104830 <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104830>
6. Tao, R., Xing, P., Li, H., Sun, Z., Wu, Y. Recovery of spent LiCoO₂ lithium-ion battery via environmentally friendly pyrolysis and hydrometallurgical leaching. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 176, January 2022, 105921 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105921>
7. Zhang, Y., Wang, W., Fang, Q., Xu, S. Improved recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries by efficient reduction roasting and facile acid leaching. *Waste management*. Vol. 102, 1 February 2020, P. 847–855 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.045>
8. Ye, Y., Shi, Y., Saw, L.H., Tay, A.A. Simulation and evaluation of capacity recovery methods for spiral-wound lithiumion batteries. *Journal of Power Sources*, Vol. 243, 1 December 2013, P. 779–789 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.06.083>
9. Colclasure, A. M., Li, X., Cao, L., Finegan, D. P., Yang, C., Smith, K. A. Significant life extension of lithium-ion batteries using compact metallic lithium reservoir with passive control. *Electrochimica Acta*, Vol. 370, 20 February 2021, 137777 <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.137777>
10. Koleti, U. R., Zhang, C., Malik, R., Dinh, T. Q., Marco, J. The development of optimal charging strategies for lithium-ion batteries to prevent the onset of lithium plating at low ambient temperatures. *Journal of Energy Storage*. Vol. 24, August 2019, 100798 <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100798>

Стаття надійшла до редакції 20.03.2023 р.

O. Yurchenko, H. Barsukova
Sumy National Agrarian University

DETERMINATION OF QUANTITATIVE INDICATORS FOR ECONOMIC ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF CULTURAL EQUIPMENT

Summary

Restoration and maintenance of power sources, in this case, batteries, is an integral part of their life cycle. Their service life and the quality of the electrical energy they transmit depend on this. Quality refers to the number of charge-discharges, capacity, etc.



A used battery must be disposed of, which is an expensive option today. However, the alternative in the form of battery recovery has several advantages. This explains, first of all, the impossibility of negative impact on the environment, lower financial costs, and the possibility of reusing the energy resource. This work presents a method of battery recovery with low current and parallel charge-discharges. The results of the experiments proved the effectiveness of using such a technique to bring a used and disabled battery into working condition. The use of a battery charger, two lamps acting as a charge source and a laboratory autotransformer make it possible to connect an electric circuit. The result is a reduction of sulfation in the battery, an increase in its reliability and time of uninterrupted use. The work describes the entire technological process, which took place over 20 days, and shows the main stages of the restoration of the accumulator of the lamp of the IEK company. With the help of photofixation, it is possible to visually see the course of the main reactions that are characteristic of this method of battery recovery. The tables and graphs in the article show the progressive changes in the operation of the battery, in particular, the increase in voltage, the decrease in spontaneous self-discharge, and the differences in these indicators. Subsequently, a fully working rechargeable battery for the lamp was obtained, which until then had already been considered worn out.

Key words: battery, transformer, sulphation, connection of conductors, lamp, acid.