

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторної роботи
«КИСЛОТНИЙ АКУМУЛЯТОР»
з навчальної дисципліни
«Сучасні та перспективні хімічні джерела струму»
для здобувачів спеціальності 161 «Хімічні технологія та інженерія»,
освітній програми «Технічна електрохімія та хімічні технології
рідкісних розсіяних елементів»

Затверджено
редакційно-видавничою радою
університету,
протокол № 1 від 13.02.2025 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2025

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Кислотний акумулятор» з навчальної дисципліни «Сучасні та перспективні хімічні джерела струму» для здобувачів спеціальності 161 «Хімічні технологія та інженерія», освітньої програми «Технічна електрохімія та хімічні технології рідкісних розсіяних елементів» уклад. С. Г.Дерібо, В. П.Гомозов. Харків: НТУ «ХП», 2025. – 19 с.

Укладачі: С. Г. Дерібо

В. П. Гомозов

Рецензент: С. А. Лещенко

Кафедра технічної електрохімії

1. МЕТА РОБОТИ

Мета лабораторної роботи:

- ознайомитись з улаштуванням та конструкцією свинцевого акумулятора стартерного типу;
- одержати зарядно-розрядні характеристики в різних умовах зарядження (заряду) і розрядження (розряду);
- знайти коефіцієнт використання активних мас;
- вивчити вплив концентрації сульфатної кислоти на напругу та ємність акумулятора при розряді;
- за допомогою ЕОМ одержати емпіричні коефіцієнти у рівнянні Пейкерта при розряді акумулятора.

2. ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

Варіант 1. Дослідити вплив режиму розряду на коефіцієнт використання активних мас.

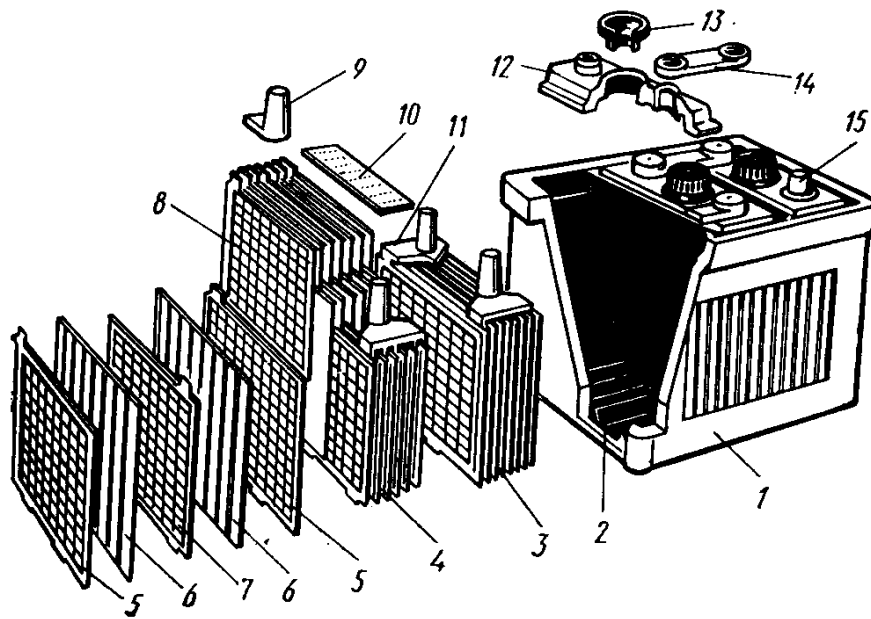
Варіант 2. Визначити розрядні характеристики акумулятора.

Варіант 3. Визначити залежність віддачі за ємністю та за енергією від режиму розряду.

3. КОНСТРУКЦІЇ АКУМУЛЯТОРІВ

3.1. Конструкція стартерного акумулятора

Будова практично всіх типів акумуляторів однакова й заснована на принципі банкової конструкції (рис. 3.1). Звичайно банки з'єднані в батарею в одному моноблоці, виготовленому з ебоніту або поліетилену. На дні ячеек моноблока є опорні призми, на які опираються електроди і сепаратори.



1 – моноблок; 2 – опорні призми; 3 – блок електродів; 4 – півблок позитивних електродів; 5 – негативний електрод; 6 – сепаратор; 7 – позитивний електрод; 8 – півблок негативних електродів; 9 – баретка; 10 – щиток; 11 – місток; 12 – кришка; 13 – пробка; 14 – перемичка; 15 – борн

Рисунок 3.1 – Конструкція стартерного акумулятора:

Простір між дном опорних призм та електродами призначається для накопичування шламу, який виноситься з активної маси електродів. Це запобігає замиканню шламом різнойменних електродів.

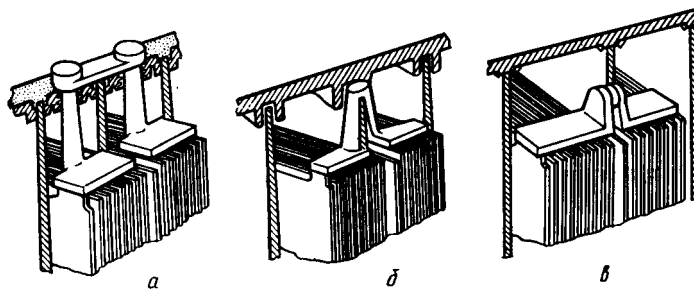
Кожний з електродів являє собою решітку, відлиту зі свинцево-сурм'яного сплаву, з нанесеною на неї активною масою. Однойменні пластини з'єднані між собою за допомогою містка, до якого приварений вивід (борн). Число негативних електродів на 1 більше, ніж позитивних, вони мають меншу товщину. Сепаратори виготовлені з мікропористого кислотостійкого матеріалу – міпору, міпласту та ін. Звичайно сепаратори мають з однієї сторони ребристу поверхню, яка для кращого доступу до електроліту звернена до позитивного електрода. Розміри сепаратора більші за розміри електродів. Зверху над сепараторами встановлюється ебонітовий або пластмасовий перфорований щиток, що охороняє верхній край сепараторів

від механічних ушкоджень при вимірах температури, рівня і густини електроліту.

Кожний акумулятор закритий кришкою. У ній є три отвори: два крайніх – для струмовідводів і середній – для заливання електроліту. У крайніх отворах запресовані свинцеві втулки. Отвір для заливання електроліту закривається різьбовою пробкою, що має вентиляційний отвір для виходу газів з працюючого акумулятора та відбивач для запобігання виплискування електроліту під час експлуатації батареї.

Акумулятори з'єднуються послідовно за допомогою перемичок (рис. 3.2). При зварюванні борна з перемичкою одночасно зварюється верхня частина свинцевої втулки, яка запресована у кришку. Це забезпечує надійне ущільнення отвору кришки в місці виходу борна.

Існують також конструкції зі з'єднанням банок за допомогою скорочених штирів. Ці штирі зсунуті до перегородок і зварені через отвір у стінці моноблока. У такому випадку вся батарея закривається спільною кришкою.



a – із зовнішнім розташуванням перемичок; *б* – через перегородку під спільною кришкою; *в* – через отвір у перегородці

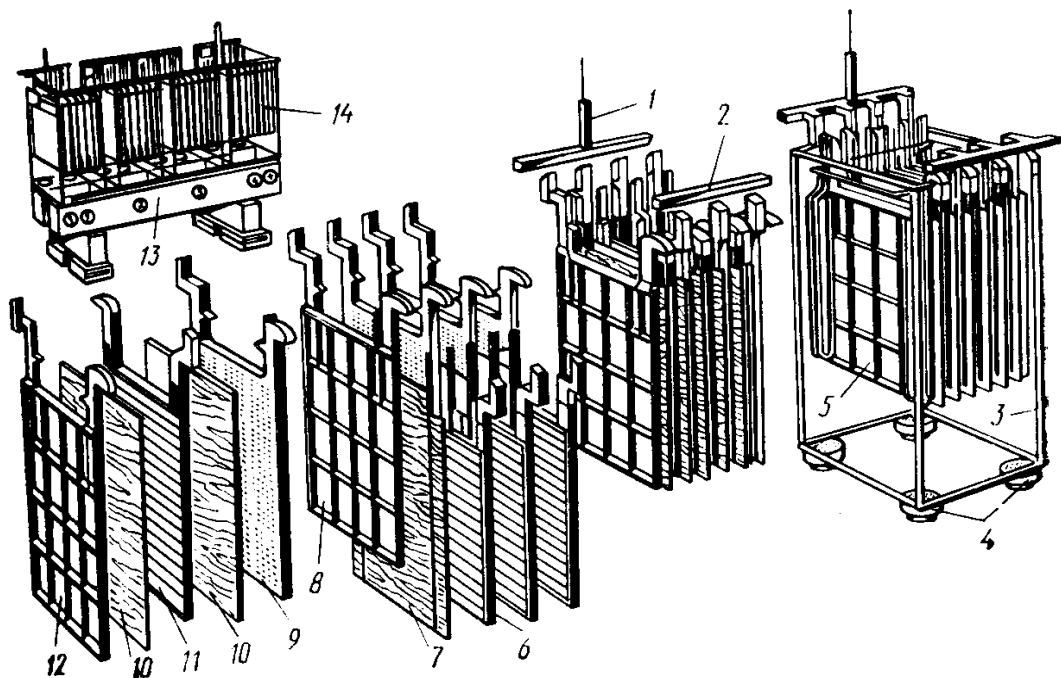
Рисунок 3.2 – Способи з'єднання акумуляторів у батареї

3.2. Конструкція стаціонарних акумуляторів

У нашій країні випускають два типи стаціонарних акумуляторів. В акумуляторах традиційної конструкції серії С (стаціонарний) і СК

(стаціонарний для коротких режимів розряду) використовуються поверхневі позитивні й коробчасті негативні електроди (пластини). Поверхневі пластини відливають із чистого свинцю у вигляді листів з рифленою поверхнею товщиною до 12 мм, що забезпечує їм тривалий термін служби (більше 10 років). Так само довговічні й коробчасті пластини. Однак ці акумулятори, які не мають щільних кришок, незручні в експлуатації а їх виробництво пов'язане з підвищеною витратою свинцю.

Стаціонарні акумулятори нової серії СН випускають у закритих баках, їх можна експлуатувати у приміщеннях, де встановлені інші прилади й апарати. У новій серії повністю усунуті всі недоліки акумуляторів з поверхневими й коробчастими пластинами. Витрата свинцю в них зменшена на 25–50 % за рахунок застосування намазних пластин. Кришка, що щільно закривається, істотно зменшує випарювання води й усуває необхідність частого доливання. Для позитивних електродів використані решітки товщиною 7 мм з діагональним розташуванням жилок, для негативних електродів застосовані решітки товщиною 5 мм (середні пластини) і 3,4 мм (крайні пластини). Пластини стартерних батарей аналогічні за конструкцією, але значно тонкші.



1, 2 – шини для з'єднання пластин одного знака; 3 – корпус акумулятора;
 4 – ізолятори; 5 – блок пластин у посудині; 6, 7, 8 – комплекти пластин і сепараторів; 9 – негативна пластина; 10 – сепаратор; 11 – позитивна пластина;
 12 – решітка негативної пластини; 13 – стелаж; 14 - стаціонарна батарея

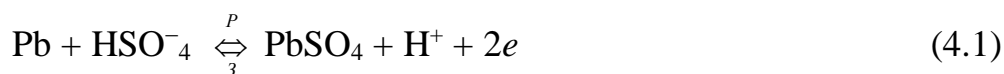
Рисунок 3.3 – Конструкція стаціонарних акумуляторів

Сепаратори в акумуляторах СН складаються з трьох шарів. Перший шар, зі скляного волокна, прилягає до позитивного електрода й запобігає опливанню активної маси. Другий шар, виготовлений з перфорованого гофрованого вініласту, збільшує міжелектродний зазор і забезпечує необхідний запас електроліту між електродами. Третій шар з міпору притиснутий до негативного електрода. Це перешкоджає оповзанню губчатого свинцю. Складання акумуляторів типу СН проводиться в скляних або ебонітових посудинах. Блок негативних пластин опирається на призми, позитивні пластини перебувають у підвішеному стані, опираючись на уступи бічних стінок.

4. РОЗРАХУНОК СТРУМОУТВОРЮЮЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЕЛЕКТРОПАРАМЕТРІВ

Свинцевий акумулятор $(-)\text{Pb}|\text{H}_2\text{SO}_4|\text{PbO}_2(+)$

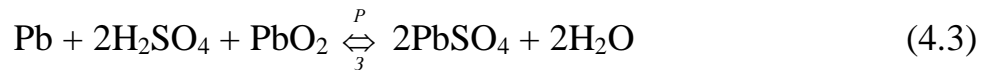
у зарядженому стані складається зі свинцевого порошкоподібного негативного, диоксидно-свинцевого позитивного електродів та електроліту – розчину сульфатної кислоти густиною $1,20 \div 1,27 \text{ г/см}^3$. Головним струмоутворюючим процесом є реакції на негативному електроді:



На позитивному електроді:



При розряді на позитивному та негативному електродах накопичується сульфат свинцю, кристалічна структура якого відіграє значну роль в експлуатації акумулятора. При форсованому розряді великою густиною струму утворюються крупнокристалічні осади, які потім погано відновлюються до початкового стану, тобто акумулятор сульфатується. Кількість активних мас, закладених у даний акумулятор, визначається ємністю і габаритами ХДС на основі сумарної струмоутворюючої реакції:



Найбільш важливим доказом достовірності реакції є її термодинамічне обґрунтування. Так, розрахунок ЕРС і температурного коефіцієнта свинцевого акумулятора за термодинамічними даними і порівняння їх з експериментальними свідчать про збіжність цих параметрів з точністю 0,5 %. Електроліт бере активну участь у струмоутворюючому процесі. Дифузія іонів бісульфату до поверхні електродів лімітує швидкість розряду і заряду акумулятора.

Найважливішими електричними характеристиками акумулятора є наступні. ЕРС являє собою різницю стандартних потенціалів електродних реакцій, що відбуваються під час розряду, і характеризує не стільки реальне джерело струму, скільки електрохімічну систему.

Напруга розімкнутого кола (НРК) – це різниця безструмових електродних потенціалів позитивного і негативного електродів при розімкнутому колі:

$$U_{\text{НРК}} = E_{(+)} - E_{(-)}. \quad (4.4)$$

Розрядна напруга – різниця електродних потенціалів при замиканні кола на опір. Напруга ХДС залежить від значення розрядного струму. У загальному випадку для вивчення поведінки ХДС при різних режимах роботи досліджують характер змін розрядної і вольт-амперної кривих.

Розрізняють початкову $U_{\text{п}}$, кінцеву $U_{\text{к}}$ і середню $U_{\text{сер}}$ напругу, що стосуються конкретних умов розряду. Інтервал $U_{\text{п}} - U_{\text{к}}$ становить робочий діапазон напруги ХДС. Кінцеву розрядну напругу вибирають залежно від вимог споживача.

Важливою характеристикою ХДС є **повний внутрішній опір (ПВО)**, який являє собою суму омичного та поляризаційного опорів:

$$R_{\text{ПВО}} = r_{\text{ом}} + r_{\text{пол}}. \quad (4.5)$$

Омічна частка включає опір контактів, електродів, електроліту та сепараторів. Поляризаційна частка зумовлена поляризацією електродів при протіканні електричного струму. Приблизно розрахувати ПВО у заданий час можна за відношенням

$$R_{\text{ПВО}} = \frac{U_p' - U_p''}{I_p' - I_p''} = \frac{E - U_p}{I_p}, \quad (4.6)$$

де U_p' та I_p' – напруга та струм у момент часу t' ;

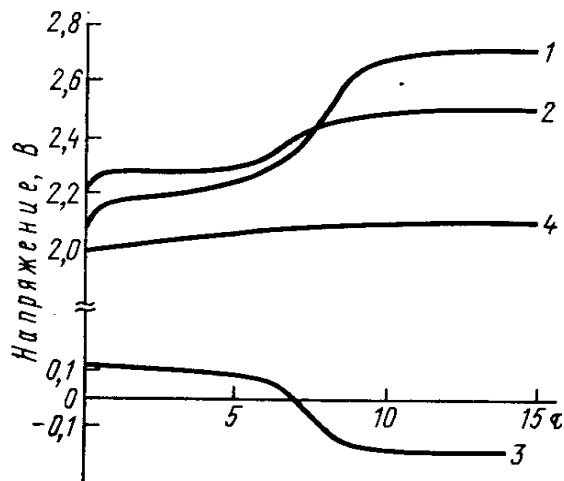
U_p'' та I_p'' – напруга та струм у момент часу t'' :

$t'' > t'$.

Однією з найважливіших характеристик ХДС є **розрядна ємність Q_p** – максимальна кількість електрики, яку віддає акумулятор при повному розряді:

$$Q_p = \int_0^{\tau} I_p \cdot d\tau. \quad (4.7)$$

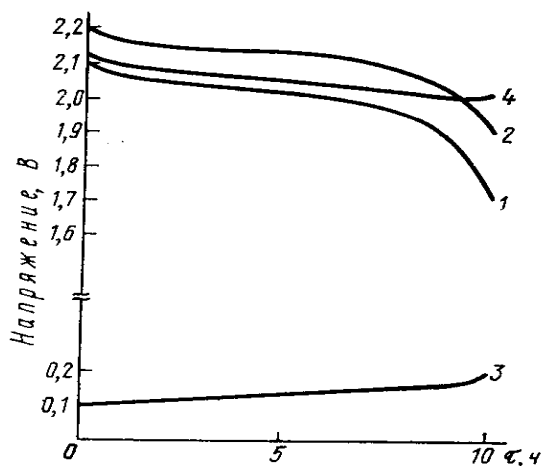
Заряд і розряд свинцевого акумулятора взагалі визначається поляризацією електродів. Характер зміни напруги, а також значень потенціалів позитивного та негативного електродів при заряді показані на рис. 4.1, а при розряді – на рис. 4.2.



1 – напруга акумулятора при заряді; 2 – потенціал «+» електрода;

3 – потенціал «-» електрода; 4 – напруга розімкненого кола

Рисунок 4.1 – Характер зміни напруги, а також потенціалів позитивного та негативного електродів при заряді:



1 – напруга акумулятора при розряді; 2 – потенціал “+” електрода; 3 – потенціал “-” електрода; 4 – напруга розімкненого кола

Рисунок 4.2 – Характер зміни напруги, а також потенціалів позитивного та негативного електродів при розряді

Зарядну і розрядну напруги свинцевого акумулятора знаходять за рівняннями

$$U_z = E + \Delta E_z + I \cdot r \quad (4.8)$$

$$U_p = E - \Delta E_p + I \cdot r \quad (4.9)$$

де ΔE_z та ΔE_p – значення електродної поляризації; r – омичний опір акумулятора.

Головними параметрами, що визначають режим розряду свинцевого акумулятора, є струм розряду, час, температура, концентрація сульфатної кислоти в електроліті. Для стартерних батарей оптимальними за концентрацією сульфатної кислоти вважаються 30÷40 %-ні розчини. Зменшення концентрації кислоти знижує номінальну ємність акумулятора, збільшує його внутрішній опір.

Особливо важлива залежність ємності акумулятора від струму розряду, яка виражається формулою Пейкерта:

$$I_p^z \cdot \tau_p = K, \quad (4.10)$$

де z , K – сталі; τ_p та I_p – час і струм розряду.

Значення z і K визначають розрядом акумулятора різним струмом:

$$I_1^z \cdot \tau_1 = K; I_2^z \cdot \tau_2 = K; \quad (4.11)$$

$$z = \frac{\lg \tau_2 - \lg \tau_1}{\lg I_1 - \lg I_2}. \quad (4.12)$$

Для різних типів свинцевих акумуляторів значення z коливається від 1,35 до 1,72.

Важливими характеристиками акумулятора є коефіцієнт використання активних мас K_b , енергія W та потужність P .

Коефіцієнт використання активних мас, %:

$$K_b = \frac{Q_\phi}{Q_t}, \quad (4.13)$$

де Q_ϕ та Q_t – фактична та теоретична ємності.

Фактична ємність, А·год:

$$Q_\phi = Q_p = \sum Q_i.$$

Теоретична ємність, А·год:

$$Q_t = \frac{M}{q},$$

де M – маса активної речовини, г;

q – електрохімічний еквівалент, г/А·год.

Потужність P , Вт:

$$P = U_p \cdot I_p, \quad (4.14)$$

Енергія W , Вт·год:

$$W = \int_0^\tau U_p \cdot I_p \cdot d\tau, \quad (4.15)$$

Значний вплив на розрядну ємність чинить режим заряду акумулятора. Для його прискорення використовують заряд струмом змінної полярності. Оптимальним часом накладення зарядного і розрядного струму є відношення $I_z : I_p = 5 \text{ хв} : 20 \text{ с}$.

Співвідношення абсолютних значень зарядного та розрядного струмів становить $I_z : I_p = 5$. При такому режимі допускається 8–10-разове збільшення значення зарядного струму порівняно з номінальним. При цьому можна досягнути зменшення часу формовки у 3–5 разів.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Для виконання беруть макети акумуляторної батареї 6 МТФ-9 та батарею 6 МТС-4. Макет акумулятора – це 2 електроди (позитивний і негативний) від акумулятора МТФ-9, які розділені сепаратором і поміщені усередину макету з елетролітом. Вага активної маси позитивного електроду 23,8 г, негативного, - 24,5 г. Макети акумулятора та батарею приводять у робочий стан та зважують.

Заряд макетів та батареї проводять струмом 10-годинного режиму постійним струмом.

Розряд акумулятора здійснюють струмом $0,5 \div 2,0$ А (за вказівкою викладача) до напруги не нижче 1,7 В для макета акумулятора, відповідно для батареї з 6 акумуляторів – не нижче 10,2 В.

Зміну напруги і струму в процесі розряду фіксують за допомогою самописного приладу або високоомного вольтметра та амперметра.

6. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ

Варіант 1. Дослідження впливу режиму розряду на коефіцієнт використання активних мас.

2 макети акумулятора МТФ-9 заряджають струмом номінального режиму (0,9 А). Необхідно розрахувати теоретичну ємність за масою пластин. Розряд кожного макету здійснити різним струмом ($0,9 \div 2,0$ А). При розряді вимірюють потенціали позитивного та негативного електродів за допомогою кадмієвого електрода порівняння, значення якого у 10 н розчині сульфатної кислоти дорівнює $-0,4$ В, а також розрядну напругу. Дані

експерименту занести у табл.1. Після закінчення розряду розраховують фактичну ємність, одержану на кожному макеті акумулятора, і коефіцієнт використання активних мас, будують графіки $U_p = f(\tau)$; $\varepsilon_{(+)} = f(\tau)$; $\varepsilon_{(-)} = f(\tau)$.

Для кожного макету акумулятора за допомогою ЕОМ необхідно обчислити коефіцієнти z і K у формулі Пейкерта.

Таблиця 1

τ , хв	$I_1 = __ \text{А}$			$I_2 = __ \text{А}$		
	U	$\varepsilon_{(+)}$	$\varepsilon_{(-)}$	U	$\varepsilon_{(+)}$	$\varepsilon_{(-)}$
0						
5						
10						
20						
...						

Варіант 2. Визначення розрядних характеристик акумулятора.

Заряжають батарею 6 МТС-4.

Розряд батареї ведуть струмом, вказаним викладачем: 0,4–2,0 А. При розряді батареї зміну струму та напруги фіксують амперметром та вольтметром. Дані заносять у таблицю 2. Після розряду батареї будують розрядну криву, розраховують розрядну ємність, повний внутрішній опір, енергію та потужність.

Таблиця 2

τ , хв.	I_p , А	U_p , В	Q , А·год	P , Вт	W , Вт·год	$R_{\text{ПВНО}}$, Ом
0						
1						
2						
2						
5						
5						
10						
10...						
5						
2						
1						

За експериментальними даними будують залежності $I = f(\tau)$; $U = f(\tau)$;
 $R_{ДВО} = f(\tau)$.

Варіант 3. Визначення залежності віддачі за ємністю та за енергією від режиму розряду.

Заряджають 2 макети акумулятора МТФ-9 номінальним режимом. Зважують кожен макет. Розряд кожного макета проводять на різні опори в межах 0,5–2,5 Ом. При розряді кожного макету зміну струму та напруги фіксують амперметром та вольтметром. Дані заносять у таблицю 3.

Таблиця 3

τ , хв	$R_1 = __ \text{Ом}$		$R_2 = __ \text{Ом}$	
	U	I	U	I
0				
5				
10				
20				
...				

Після розряду батареї будують розрядні криви, розраховують розрядну ємність, повний внутрішній опір, енергію та потужність для кожного макету. За експериментальними даними для кожного макету будують залежності $I = f(\tau)$; $U = f(\tau)$.

Розраховують питомі характеристики акумуляторів і порівнюють їх залежно від значення розрядного опору.

Обладнання для виконання трьох варіантів роботи:

- макет акумулятора МТФ-9 (2 шт.) і акумуляторна батарея 6 МТС-4 (1 шт.);
- цифровий вольтметр (2 шт.);
- амперметр М-104 (0–4 А) (2 шт.);
- кадмієвий електрод порівняння (2 шт.);
- магазин опорів Р33 (2 шт.);

- постійний опір (6 шт.).

7. ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

- назву роботи;
- мету роботи;
- завдання (один з варіантів);
- виклад теоретичного матеріалу;
- опис будови акумулятора;
- хід виконання роботи;
- дослідні та розрахункові дані, занесені у таблиці;
- графіки заряду та розряду акумуляторів;
- одержані результати та висновки.

8. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

При роботі з акумуляторами не допускати проливання розчину сульфатної кислоти. У випадку розбризкування електроліту ретельно нейтралізувати його 5–10%-ним розчином соди.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Опишіть конструкцію стартерного акумулятора
2. Опишіть конструкцію стаціонарного акумулятора
3. Наведіть струмоутворюючі реакції на електродах при заряді й розряді.
4. У чому різниця між ЕДС і НРК?
5. Що таке повний внутрішній опір і від чого він залежить?
6. Що таке розрядна ємність і від чого вона залежить?
7. Як експериментально визначити розряду ємність?

8. Які прилади необхідні для заряду акумулятора?
9. Як експериментально визначити зарядну ємність?
10. Для якої мети можна використовувати рівняння Пейкерта?
11. Яким чином можна знайти коефіцієнти рівняння Пейкерта?
12. Як можна знайти коефіцієнт використання активних мас?
13. Що таке питома потужність акумулятора?
14. Яким чином визначається потужність акумулятора?
15. Що таке питома енергія акумулятора?
16. Яким чином визначається енергія акумулятора?
17. Для якої мети можна використовувати питому енергію (потужність) акумулятора?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гомозов В. П., Дерібо С. Г. Сучасні та перспективні хімічні джерела струму: конспект лекцій [Електронна версія]. – Харків: НТУ «ХП», 2024. 136 с.
2. Байрачний Б. І., Тульський Г. Г., Штефан В. В., Токарева І. А.; за ред. Байрачного Б. І. Технічна електрохімія : підручник : Ч.5 : Сучасні джерела струму, електроліз розплавів, електросінтез хімічних речовин. Харків: Вид-во "Підручник НТУ «ХП», 2016. 272 с.
3. Фроленкова С. В., Букет О. І., Васильєв Г. С., Бик М. В.. Технічна електрохімія 2: Хімічні джерела струму [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 321 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
«Кислотний акумулятор»

з навчальної дисципліни «Сучасні та перспективні хімічні джерела струму» для здобувачів спеціальності 161 «Хімічні технологія та інженерія», освітньої програми «Технічна електрохімія та хімічні технології рідкісних розсіяних елементів»

Укладачі:

ДЕРІБО Світлана Германівна
ГОМОЗОВ Валерій Павлович

Відповідальний за випуск проф. Лешенко С.А.

Роботу до видання рекомендував проф. Тульський Г.Г.

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 445

Підп. до друку Гарнітура Times New Roman.
Видавничий центр НТУ «ХП»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
Електронна версія