

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

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання лабораторної роботи**  
**«ВИГОТОВЛЕННЯ РЕЗЕРВНОГО ХДС З КИСЛИМ**  
**ЕЛЕКТРОЛІТОМ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО**  
**РОЗРЯДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК»**  
з навчальної дисципліни  
«Сучасні та перспективні хімічні джерела струму»  
для здобувачів напряму підготовки 161 «Хімічна технологія та інженерія»  
денної та заочної форм навчання

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

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2025

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Виготовлення резервного ХДС з кислим електролітом та дослідження його розрядних характеристик» з навчальної дисципліни «Сучасні та перспективні хімічні джерела струму» для здобувчів напряму підготовки 161 «Хімічна технологія та інженерія» денної та заочної форм навчання / уклад. Г. Г. Тульський, С. Г. Дерібо, В. П. Гомозов. – Харків: НТУ «ХПІ», 2025. – 21 с.

Укладачі: Г. Г. Тульський,  
С. Г. Дерібо,  
В. П. Гомозов

Рецензент С. А. Лещенко

Кафедра технічної електрохімії

## 1. МЕТА РОБОТИ

Мета лабораторної роботи:

- виготовити макет свинцево-цинкового ампульного елемента;
- визначити час, що необхідний для приведення його в дію;
- одержати розрядну характеристику при заданому струмовому режимі.

Робота складається з двох частин:

1. Вивчення процесу електроосадження діоксиду свинцю при виготовленні діоксид-свинцевого електрода.
2. Виготовлення та дослідження макета свинцево-цинкового ампульного елемента.

## 2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Резервні ХДС являють собою первинні елементи або батареї, електроди яких у період зберігання не контактують з електролітом і приводяться в робочий стан (активуються) безпосередньо перед розрядом. У резервних ХДС сполучено гарантований багаторічний термін зберігання з можливістю інтенсивного розряду, секунд до декількох годин.

В ампульних батареях застосовано такі електрохімічні системи, які здатні забезпечити високі питомі електричні характеристики, але мають високий саморозряд. Тому в процесі зберігання цієї батареї в неробочому стані електроліт у ній не контактує з електродною активною масою, як у акумуляторах чи сухих елементах, а міститься в окремій ємкості – ампулі.

Відмінною рисою зазначених систем є те, що в них використовують дуже агресивні електроліти, які мають високу електричну провідність (як правило, концентровані кислоти), а заливання електроліту в елементи виконують під тиском. Це зумовлює істотну відмінність техніко-експлуатаційних характеристик резервних ХДС від традиційних: приведення резервних елементів у дію відбувається інтенсивно, займає іноді частки

секунди, а найбільш ефективними є форсовані режими розряду.

Автоматично активована ампульна батарея – складний агрегат, до якого, крім блока елементів, входять системи, що забезпечують зберігання електроліту, подавання його в необхідний момент в елементи, виведення газоподібних продуктів саморозряду, термостатування при зниженій температурі оточуючого середовища.

Приведення ампульної батареї в дію включає наступні стадії. *На першій стадії* ампульна батарея знаходиться в неробочому стані. Сухозаряджені елементи з електролітом не контактують, а сам електроліт міститься в еластичній пластмасовій ампулі і відділений від елемента поліетиленовою мембраною. *На другій стадії* в необхідний момент у коло електрозапалу подається напруга від зовнішнього джерела струму. Відбувається запалювання піротехнічної суміші, тиск газів миттєво зростає, що приводить до розриву ампульної мембрани. Електроліт під тиском спрямовується в елемент. Напруга на елементі починає зростати. *На третій стадії* елемент знаходиться в робочому стані. Слід зазначити, що контакт електроліту з електродами не є достатньою умовою миттєвого приведення в робочий стан ампульної батареї. Потрібен деякий час для просочення сепаратора електролітом, а також для виведення електродів зі стану пасивності, у якому вони можуть знаходитися. Це час становить від часток секунди до десятків секунд залежно від природи активних мас та електроліту, матеріалу сепараторів, конструкції елемента, способу подавання електроліту й інших факторів.

Час приведення ампульної батареї в дію є найважливішою експлуатаційною характеристикою. Він складається з часу заливання елементів електролітом і часу власне активації. Тому час приведення в дію елемента дорівнює проміжку від моменту подавання імпульсу струму на електрозапал до моменту досягнення елементом номінальної напруги, а час активації – від моменту появи напруги на елементі до моменту досягнення номінального значення.

Найбільш широко в ампульних батареях застосовуються елементи наступних систем.

### ***Свинцево-цинковий елемент***

Електрохімічна система: **Zn|H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>|PbO<sub>2</sub>**

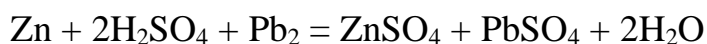
Напруга розімкнутого кола: 2,5 В.

Теоретична питома енергія: 268 Вт·год/кг.

Практична питома енергія: 20...70 Вт·год/кг.

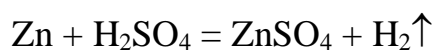
Тривалість роботи: 3...5 хв.

Струмоутворююча реакція:



Застосування розчинного негативного електрода має перевагу перед нерозчинним у тому відношенні, що продукт розряду не ізолює активну речовину від контактування з електролітом, внаслідок чого коефіцієнт використання активної речовини значно підвищується. З іншого боку, застосування розчинного електрода має і негативну властивість, оскільки вимагає збільшеної кількості електроліту, що зменшує практичну питому енергію системи.

Головною проблемою при використанні системи Zn|H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>|PbO<sub>2</sub> як елемента є великий саморозряд цинкового електрода, що проходить з сильним газовиділенням відповідно до рівняння



Крім того, до числа недоліків системи варто віднести значну пасивацію негативного електрода при температурах, нижчих за -10 °С. При зниженні температури електроліту і підвищенні розрядної густини струму поблизу негативного розчинного електрода відбувається перенасичення електроліту сульфатнокислим цинком. У результаті цього на цинку з'являється

малорозчинна плівка сульфатнокислого цинку, що зумовлює його пасивність при зазначених умовах розряду.

**Конструкція елемента.** Корпус має форму прямокутного паралелепіпеда. Виконаний з кислотостійкого матеріалу (поліетилен, полівінілхлорид). Виготовляється методом лиття під тиском. Електроди являють собою плоскопаралельні пластини. Негативний електрод виготовлений з амальгамованої цинкової фольги. Позитивний буває трьох видів:

- тонкі фольгові пластини свинцю. Фольга для одержання на ній шару диоксиду свинцю піддається перхлоратному формуванню з наступним зарядом у розчині сульфатної кислоти;
- сітчаста основа з різноманітних металів (сталь, нікель, мідь, титан), на яку осаджують диоксид свинцю у вигляді компактних безпористих осадів;
- намазні електроди, конструкція яких аналогічна електродам свинцевих акумуляторів. Каркас виготовлений або зі свинцево-сурм'яного сплаву (стандартна решітка), або з мідної освинцьованої сітки.

Як сепаратор використовуються тонкі аркуші кислотостійкого паперу. Як електроліт застосовується 38%-ний розчин  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

### ***Свинцево-кадмійовий елемент***

Електрохімічна система:  $\text{Cd}|\text{PbO}_2|\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Напруга розімкнутого кола: 2,2 В.

Теоретична питома енергія: 215 Вт·год/кг.

Практична питома енергія: 15...40 Вт·год/кг.

Тривалість роботи: 3...5 хв.

Струмоутворююча реакція:

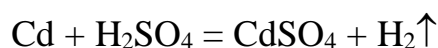


У цьому елементі, як і у свинцево-цинковому, негативний електрод є розчинним. На відміну від свинцево-цинкового, даний елемент чудово працює при низьких температурах. Він є єдиним елементом, який після заливання електролітом при  $t = -54\text{ }^{\circ}\text{C}$  може негайно віддавати ємність при значній питомій потужності.

Конструкція позитивного електрода аналогічна звичайному намазному електроду свинцевого акумулятора. Негативний електрод також є намазним. Намазування здійснюється пастою, що складається з замішаного на воді оксиду кадмію. Губчастий кадмій утворюється з пасти шляхом формування. Решітки пластин для обох електродів виготовляються зі свинцево-сурм'яного сплаву. З успіхом застосовують і мідні освинцьовані решітки, що підвищує питому енергію елементів, особливо при коротких режимах розряду і низькій температурі. При менш жорстких режимах як негативний електрод можна застосовувати листовий гофрований чи перфорований кадмій. Сепаратором служать спеціальні сорти кислотостійкого паперу і міпор. Електролітом є 38%-ний розчин сульфатної кислоти.

Питомі характеристики свинцево-кадмійових елементів при нормальній температурі розряду є трохи нижчими, ніж свинцево-цинкових, але за низьких температур виявляються значно вищими.

Саморозряд кадмійового електрода менший, ніж цинкового, але все-таки значний і супроводжується виділенням водню:



### ***Свинцевий елемент з хлорною кислотою***

Електрохімічна система: **Pb|HCl<sub>4</sub>|PbO<sub>2</sub>**

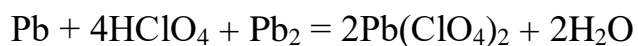
Напруга розімкнутого кола: 1,85...2,23 В.

Теоретична питома енергія: 126 Вт·год/кг.

Практична питома енергія: 20...40 Вт·год/кг.

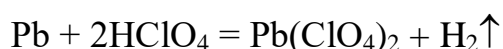
Тривалість роботи: до 30 хв.

Струмоутворююча реакція:



Обидва електроди в цьому елементі є розчинними. Унаслідок цього коефіцієнт використання активних речовин значно зростає, особливо при нетривалих режимах розряду і низьких температурах. Електрорушійна сила системи залежить від концентрації кислоти. Застосовувати розчини з концентрацією, вищою за 70 %, не рекомендується, оскільки вони є вибухо-небезпечними при підвищених температурах.

Елемент має наступну конструкцію. Активною речовиною позитивного електрода служить діоксид свинцю, що був електролітично висаджений на нікелевій, залізній, мідній чи сталевій сітчастій основі. На відміну від діоксиду свинцю, який застосовують у звичайних свинцевих акумуляторах, тут він повинен бути якнайщільнішим, щоб захистити основу від дії електроліту та від утворення ними короткозамкненої пари. Негативний електрод також являє собою електролітично висаджений свинець чи гладкий свинцевий лист. У залитому стані елемент має великий саморозряд як через негативний, так і через позитивний електрод. Саморозряд негативного електрода супроводжується газовиділенням:



Електроліт слабо діє на активну речовину позитивного електрода, але інтенсивно реагує з матеріалом його решітки. Унаслідок цього позитивний електрод обмежує термін зберігання елемента після заливання. У сухому стані час зберігання елемента не обмежений, але після заливання він повинен бути використаний негайно. Залежність питомої енергії від питомої потужності у свинцевих елементах з хлорною кислотою приблизно така ж сама, як у свинцево-кадмійових елементах, а інтервал роботи становить від

+55 до – 60°C.

В елементах описаної конструкції можна застосовувати й інші кислоти, наприклад кремнійфтористоводневу  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , у якій електроди свинцевого акумулятора також розчинні.

### 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Принцип дії й особливості розрядної характеристики ампульної батареї зручно вивчати на моделі, що являє собою макет кислотного свинцево-цинкового ампульного елемента (рис. 3.1.)

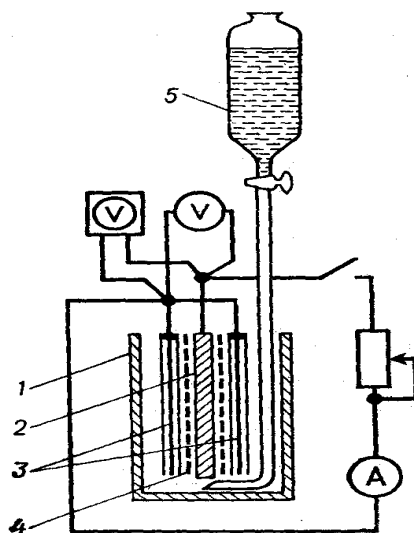


Рисунок 3.1 – Схема установки для роботи свинцево-цинкового елемента

Досліджуваний макет свинцево-цинкового елемента являє собою блок електродів, який вміщений у скляну судину 1. Електродний блок включає один катод 2 з діоксиду свинцю і два цинкових аноди 3 розміром 6×4,5 см кожний.

Позитивний електрод елемента – це сталева сітка, на яку осаджено діоксид свинцю. Кожний з негативних електродів складається з перфорованих смуг цинкової фольги, приварених до спільної струмовідвідної

планки. Між електродами знаходяться міпластові сепаратори 4. Як ампулу використовують скляну ділильну воронку 5, з'єднану гумовою трубкою з елементом. Нижня ділянка трубки лежить на дні, щоб уникнути розбризкування електроліту.

Негативні електроди видають студенту в готовому вигляді, позитивний електрод потрібно виготовити.

### **3.1. Вивчення процесу електроосадження диоксиду свинцю при виготовленні диоксид-свинцевого електрода**

Серед анодів, що є стійкими при високих поляризаціях у кислих і нейтральних середовищах, значний інтерес становлять аноди зі щільного, безпористого диоксиду свинцю. Їх виготовляють шляхом електроосадження товстого компактного шару диоксиду свинцю на струмопровідну основу.

Аноди з компактного диоксиду свинцю мають такі властивості: високу електропровідність; корозійну стійкість у сульфатнокислих, азотнокислих, фтористоводневих електролітах; високу перенапругу виділення кисню; значний електропозитивний потенціал нульового заряду ( $\approx 1,8$  В). Усе це приводить до того, що малозношувані аноди з диоксиду свинцю є більш конкурентоспроможними порівняно з анодами, виготовленими з гладкої платини. Особливо це виявляється в ряді випадків промислового електролізу, в тому числі при електролітичному одержанні перхлоратів, персульфатів, періодатів, йодоформу та інших речовин.

Електролітичні осадки диоксиду свинцю отримують з лужних і кислих електролітів. Застосовуючи лужні плюмбітні і тартратні електроліти, можна одержати компактні, блискучі і досить міцні осадки  $PbO_2$ . Однак швидкість осадування з цих електролітів невелика: при анодній густині струму  $0,2-1,0$  А/дм<sup>2</sup> і температурі  $50-60$  °С вихід за струмом диоксиду свинцю становить  $30-50$  %. Процес удається інтенсифікувати в лужних етилендіамін-тетраацетатних електролітах (Na-ЕДТА), з яких електрокристалізація

гладких осадів диоксиду свинцю здійснюється при густині струму до 3 А/дм<sup>2</sup> з виходом за струмом, близьким до 100 %.

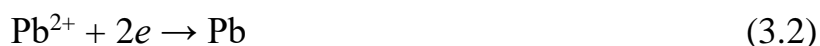
Серед кислотних електролітів гарні результати дає сульфаміновокислий електроліт, що дозволяє вести процес електроосадження при анодній густині струму до 4 А/дм<sup>2</sup> та кімнатній температурі. Однак найбільшого поширення одержали нітратні електроліти, що забезпечують осадження осадів диоксиду свинцю найкращої якості. Вони дозволяють осаджувати диоксид свинцю у вигляді компактних безпористих осадів товщиною до 10 мм на основу різної форми з різноманітних матеріалів. Як основу можна застосовувати і метали (сталь, нікель, мідь, титан), і неметали (графіт, перхлорвінілова тканина, кераміка). Коли ж за основу використовують діелектрики, тоді на поверхню анода наносять провідний шар, що містить порошкоподібний диоксид свинцю або графіт.

Важливою перевагою нітратного електроліту є те, що при його застосуванні є допустимим збільшення анодної густини струму до 5 А/дм<sup>2</sup> (в умовах кімнатної температури), при цьому вихід за струмом диоксиду свинцю становить понад 90 %. Зі зростанням температури до 80 °С швидкість осадження може бути збільшена до 20 А/дм<sup>2</sup>.

Сумарна електродна реакція окислення Pb<sup>2+</sup> до Pb<sup>4+</sup> з утворенням кристалічного диоксиду свинцю така:

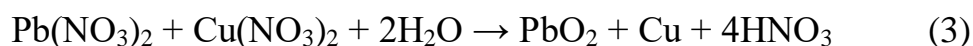


На катоді перебігають сумісні реакції: утворення водню й осадження металевого свинцю ( $E^0 = -0,126 \text{ В}$ ):



При одержанні анодів із диоксиду свинцю реакція (2) є небажаною, оскільки призводить до прискореного виснаження електроліту щодо свинцю, а також до коротких замикань в електролізері через схильність катодного

свинцю до дендритоутворення. Тому в електроліт додають нітрат міді, катодний процес зводиться до осадження міді, яка має більш електропозитивний потенціал ( $E^0 = 0,34 \text{ В}$ ). У цьому випадку утворення  $\text{PbO}_2$  йде відповідно до рівняння



Для поліпшення структури осаду і зниження внутрішніх напруг в електроліт вводять поверхнево-активні домішки (*n*-толуол-сульфамід, ОС-20, желатин, декстрин). Крім того, домішки впливають на зовнішній вигляд осаду диоксиду свинцю. Наприклад, при введенні в електроліт 5–10 г/дм<sup>3</sup> декстрину утворюються чорні дзеркально-блискучі осади (густина струму дорівнює 1–8 А/дм<sup>2</sup>). Желатин при концентрації 0,1–0,5 г/дм<sup>3</sup> сприяє отриманню компактних темно-сірих бархатистих осадів (густина струму становить 1–4 А/дм<sup>2</sup>), збільшення його концентрації до 2 г/дм<sup>3</sup> знижує матовість і підвищує крихкість. Додавання ОС-20 при густині струму 1–4 А/дм<sup>2</sup> приводить до одержання щільних матових осадів, що стають напівблискучими в міру підвищення густини струму до 8 А/дм<sup>2</sup>. Зниженню внутрішніх напружень в осаді сприяє введення нітрату алюмінію, а також температура не вище 30 °С і густина струму не більш як 5 А/дм<sup>2</sup>.

Електроосадження диоксиду свинцю виконують у скляному електролізері на сталеву сітку. Катод виготовляють з листової міді і розташовують на відстані 40–50 мм від анода.

Електролітом служить розчин, г/дм<sup>3</sup>:

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	300	ОС-20	2
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	70	Желатин	0,3
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	40		

Електроліз проводять в умовах кімнатної температури при заданій анодній густині струму.

Тривалість процесу  $\tau$ , год, розраховують за формулою

$$\tau = \frac{\delta \cdot \rho}{j \cdot q \cdot BC},$$

де  $\delta$  – товщина осаду  $PbO_2$ , см;  $\rho$  – густина осаду  $PbO_2$ , г/см<sup>3</sup>;  $j$  – анодна густина струму, А/см<sup>2</sup>;  $q$  – електрохімічний еквівалент  $PbO_2$ , г/(А·год);  $BC$  – вихід за струмом  $PbO_2$ , част. од.

Значення струму при електролізі знаходять із заданої густини струму з урахуванням площі поверхні зануреної частини анода. Перед початком електроосадження анодну основу, а також катод кулонметра зважують на аналітичних вагах. Підготовка анодної основи включає: знежирення кальцинованою содою, промивання у воді, травлення в хлоридній кислоті (1:1), повторне промивання у воді.

Найкраще зчеплення діоксиду свинцю зі сталеву основу досягається тоді, коли анод опускається в електроліт "під струмом", тобто при увімкненому електричному колі. Таким шляхом вдається загальмувати процес анодного розчинення сталі в нітратному електроліті; осад виходить менш поруватим.

Після закінчення електролізу анод з осадом діоксиду свинцю промивають водою і сушать у термостаті при 50–60 °С протягом 30–40 хв, а потім зважують. Катод кулонметра також промивають, сушать, зважують.

Отримані дослідні дані заносять до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Дослідні дані при електроосадженні діоксиду свинцю

Час, год	Густина струму, А/дм <sup>2</sup>	Струм, А	Напруга на ячейці, В	Катод кулонметра			Анод електролізера		
				Вага до електролізу, г	Вага після електролізу, г	Приріст, г	Вага до електролізу, г	Вага після електролізу, г	Приріст, г
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**Завдання 3.1.1.** Вивчити вплив густини струму на якість осадження диоксиду свинцю.

Електроліз проводять у прямокутному електролізері з сітчастим, сталевим анодом. Розмір зануреної частини анода становить 40×50 мм. Анод розташовано усередині електролізера, з боків знаходяться мідні катоди. Для виконання роботи необхідно одержати осади диоксиду свинцю при анодній густині струму 3 і 5 А/дм<sup>2</sup>. Тривалість осадження визначається з розрахунку одержання осадів товщиною 200 мкм. Густину PbO<sub>2</sub> прийняти рівною 9,6 г/см<sup>3</sup>, вихід за струмом – 95 %. Температура електроліту – кімнатна. По закінченні роботи оцінюють вплив режиму осадження на вихід диоксиду свинцю за струмом і на питому витрату електроенергії, а також на зовнішній вигляд осаду, особливо відзначаючи наявність пітингу, поздовжніх смуг, тріщин, стовщень по краях електрода.

**Завдання 3.1.2.** Вивчити вплив додавання поверхнево-активних речовин на якість осадження диоксиду свинцю.

Електроліз проводять у прямокутному електролізері, що був описаний у завданні 3.1.1, при анодній густині струму 3 А/дм<sup>2</sup> і кімнатній температурі.

За основу приймають електроліт зі складом, г/дм<sup>3</sup>:

Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	300
Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	70
Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	40

Осадження виконують з електроліту первинного складу без домішок, а також з електроліту з додаванням 5 г/дм<sup>3</sup> декстрину і 1 г/дм<sup>3</sup> ОС-20. Товщина осаду становить 100 мкм. Тривалість електролізу знаходять шляхом розрахунку.

## **3.2. Виготовлення та дослідження макета свинцево-цинкового ампульного елемента**

Порядок проведення досліду елемента наступний. Умикають протягання стрічки самописного вольтметра і через хвилину відкривають

кран ділильної лійки, імітуючи проривання ампульної мембрани. Одночасно запускають секундомір. Після того як увесь електроліт перетече в елемент, а напруга елемента перестане зростати, електричне коло замикають. Секундоміром визначають час досягнення стійкої напруги на елементі, що відповідає приведенню елемента в робочий стан. На стрічці самописа цей момент відповідає початку горизонтальної ділянки кривої «напруга – час». Розряд елемента продовжують до досягнення кінцевої напруги 1,60 В.

Дослідні дані записують у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Дослідні та розрахункові дані при розряді свинцево-цинкового елемента

Час від початку дослідів, с	Струм, А	Напруга, В	Ємність, А·год	Енергія, Вт·год

За даними розряду розраховують повну розрядну ємність та енергію, отриману під час розряду з урахуванням середньоарифметичного значення напруги. Час приведення елемента в робочий стан знаходять як за даними вимірювання напруги вольтметром, так і після розшифровки діаграми самописного вольтметра. Виконують розрахунок коефіцієнтів використання активної маси кожного з електродів.

**Завдання 3.2.1.** Дослідження впливу струмового навантаження на електричні характеристики свинцево-цинкового елемента.

Проводять випробування двох макетів елементів, одного – на опір 20 Ом, іншого – на опір 100 Ом. Електроліт – розчин сульфатної кислоти густиною 1,28 г/см<sup>3</sup>. Електроди з діоксиду свинцю виготовляють одночасно; формування пластин ведуть у двох формувальних баках, включених послідовно. Розряд елементів виконують по черзі.

Отримані розрядні характеристики дозволяють провести обговорення впливу струмового навантаження як на ємність і напругу елемента, так і на його розрядну енергію. Порівнюють також видаткові коефіцієнти активних

мас елементів. Усі ці дані включають у звіт.

**Завдання 3.2.2.** Дослідження впливу концентрації електроліту на електричні характеристики свинцево-цинкового елемента.

Обидва елементи розряджаються на однаковий опір  $R = 20$  Ом.

Відмінність від завдання 3.2.1 полягає в тому, що в першому досліді використовується розчин сульфатної кислоти густиною  $1,28$  г/см<sup>3</sup>, а в другому – розчин сульфатної кислоти густиною  $1,14$  г/см<sup>3</sup>.

#### **4. ЗМІСТ ЗВІТУ**

Звіт повинен містити:

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

#### **5. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ**

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

#### **КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. Що таке резервний ХДС та які типи елементів ви знаєте?
2. Як привести в дію резервний елемент?

3. З чого складається час приведення ампульної батареї в дію?
4. Чим викликаний саморозряд свинцево-цинкового елемента, та як його зменшити?
5. Опишіть конструкцію свинцево-цинкового елемента.
6. Опишіть конструкцію свинцевого елемента із хлорною кислотою.
7. Які електроліти для осадження диоксиду свинцю ви знаєте?
8. Напишіть рівняння утворення  $PbO_2$ .
9. Які домішки і для чого вводять в електроліт?
10. Як розрахувати тривалість електролізу при осадженні  $PbO_2$ ?
11. Як експериментально визначити розряду ємність?
12. Як можна знайти коефіцієнт використання активних мас?
13. Яким чином визначається потужність елемента?
14. Яким чином визначається енергія елемента?
15. Наведіть реакції, які перебігають при виготовленні та розрядженні диоксид–свинцевого електрода.
16. Як впливає склад електроліту на процес осадження диоксиду свинцю?
17. Які матеріали застосовують як основу для осадження диоксиду свинцю?
18. На підставі чого для осадження диоксиду свинцю обрано нітратний електроліт?
19. Для чого в нітратний електроліт осадження диоксиду свинцю додають нітрат міді?
20. Для чого в нітратний електроліт осадження диоксиду свинцю додають ПАР?
21. Для чого в нітратний електроліт осадження диоксиду свинцю додають нітрат алюмінію?
22. Розрахувати тривалість осадження 0,1 мм покриття  $PbO_2$  при густині струму, А/дм<sup>2</sup>: 1; 2; 3, 5 (BC = 95 %).
23. Розрахувати густину струму, необхідну для осадження 0,1 мм покриття  $PbO_2$  протягом такого часу, год.: 1; 2; 3; 4 (BC = 95 %).

24. Розрахувати силу струму, необхідну для проведення електролізу на аноді з розмірами 40×50 мм при густині струму (А/дм<sup>2</sup>): 1; 2; 3; 5.

## 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  
«Виготовлення резервного хдс з кислим електролітом та дослідження його  
розрядних характеристик»  
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:

ТУЛЬСЬКИЙ Геннадій Георгійович

ДЕРІБО Світлана Германівна

ГОМОЗОВ Валерій Павлович

Відповідальний за випуск проф. Тульський Г.Г.  
Роботу до видання рекомендував проф. Лещенко С.А.  
В авторській редакції

План 2025 р., поз. 444

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