

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Е. Б. ХОБОТОВА,  
Т. О. НЕНАСТІНА,  
В. В. ДАЦЕНКО,  
Л. М. ЄГОРОВА

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до організації лабораторних робіт та самостійної підготовки з  
дисципліни «Хімія», Ч. 2 для студентів 1 курсу бакалаврського рівня  
освіти

**ЧАСТИНА 2**

Харків  
ХНАДУ  
2026

Колектив авторів:

Е. Б. Хоботова, проф., д. х. н.

Т. О. Ненастіна, проф., д. т. н.

В. В. Даценко, доц., к. х. н.

Л. М. Єгорова, доц., к. х. н.

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Хімія», Ч. 2. Затверджено Методичною Радою ХНАДУ: Протокол №2 від 25.11.2025 р. – 99 с.

Методичні вказівки з хімії призначено для студентів усіх спеціальностей технічних напрямків навчання як навчальний посібник для самостійної підготовки студентів та для використання на лабораторних роботах з дисципліни «Хімія». Наведено методики проведення лабораторних робіт, рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу, типові задачі, їх рішення і задачі для самостійного рішення.

УДК 504 (075)

ББК 24 я 73

© Хоботова Е. Б.,

Т.О. Ненастіної, В.В. Даценко,

Л.М. Єгорова,

© Харківський національний

автомобільно-дорожній

університет

## ЗМІСТ

<b>Розділ № 2 Основи електрохімії</b>		
<b>Тема 9 ВЛАСТИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПОЛУК</b>		<b>5</b>
9.1	Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу	5
9.2	Приклади розв'язання завдань	7
9.3	Лабораторна робота «Хімічні властивості металів»	7
9.4	Лабораторна робота «Аналіз сплавів безстружковим методом»	9
9.5	Питання і задачі для самоконтролю	11
<b>Тема 10 ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛЬВАНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ</b>		<b>12</b>
10.1	Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу	12
10.2	Приклади розв'язання завдань	17
10.3	Лабораторна робота «Дослідження електрохімічних процесів гальванічних елементів»	21
10.4	Питання і задачі для самоконтролю	22
<b>Тема 11 КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ. ЗАХИСТ МЕТАЛІВ ВІД КОРОЗІЇ</b>		<b>24</b>
11.1	Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу	24
11.2	Приклади розв'язання завдань	30
11.3	Лабораторна робота «Корозія металів та засоби захисту від неї»	33
11.4	Питання і задачі для самоконтролю	34
<b>Тема 12 ЕЛЕКТРОЛІЗ СОЛЕЙ</b>		<b>36</b>
12.1	Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу	36
12.2	Приклади розв'язання завдань	38
12.3	Лабораторна робота «Електроліз солей»	41
12.4	Питання і задачі для самоконтролю	42
<b>Розділ №3 Дисперсні системи і неорганічні в'язучі речовини</b>		
<b>Тема 13 ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ</b>		<b>44</b>
13.1	Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу	44
13.2	Приклади розв'язання завдань	49
13.3	Лабораторна робота «Одержання дисперсних систем та дослідження їх властивостей»	51
13.4	Питання і задачі для самоконтролю	53

<b>Тема 14 НЕОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ</b>		<b>55</b>
14.1	Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу	55
14.2	Лабораторна робота «Визначення вмісту кальцій і магній оксидів у вапні»	65
14.3	Питання і задачі для самоконтролю	67
<b>Розділ № 4 Високомолекулярні сполуки</b>		
<b>Тема 15 ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ</b>		<b>68</b>
15.1	Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу	68
15.2	Лабораторна робота «Визначення молекулярної маси полімеру віскозиметричним методом»	78
15.3	Питання і задачі для самоконтролю	81
<b>КОНТРОЛЬ РІВНЯ ЗНАНЬ НА ЗАСВОЄННЯ ЗМІСТУ ДИСЦИПЛІНИ</b>		<b>82</b>
<b>ДОДАТКИ</b>		<b>94</b>
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>		<b>97</b>

## Розділ № 2 ОСНОВИ ЕЛЕКТРОХІМІЇ

### Тема 9 ВЛАСТИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ І ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПОЛУК

У сучасній техніці і промисловості роль металів постійно зростає, оскільки вони у найближчому майбутньому залишаються головними конструкційними, інструментальними матеріалами. Це обумовлено наявністю таких важливих властивостей, як механічна міцність, твердість, термічна і хімічна стійкість багатьох металів і, особливо, їх сплавів і композицій. Варто мати на увазі, що фізичні і хімічні властивості чистих металів можуть різко змінюватись у сплавах з іншими металами або при наявності в них навіть невеликих кількостей деяких неметалів. Властивості чистих металів і їх сплавів необхідно знати і враховувати майбутньому інженеру, оскільки різноманітні машини, прилади, апарати і конструкції експлуатуються у різних, іноді дуже агресивних середовищах.

#### 9.1 Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу

*Метали* – це речовини, які мають у звичайних умовах високу електро- і теплопровідність, пластичність, металевий блиск та інші властивості, які обумовлені наявністю великої кількості узагальнених електронів ( $10^{22}$  –  $10^{23}$  електронів у  $1 \text{ см}^3$  металу). Близько 80 % всіх елементів складають метали. За технічних властивостей їх ділять за щільністю – легкі і важкі; за температурами плавлення – легкоплавкі і тугоплавкі; чорні і кольорові метали; благородні, неблагородні та рідкісні метали.

Найбільш поширеним металом є алюміній Al – у земній корі його вміст складає 8,45 %. Наступними за поширеністю йдуть залізо Fe (4,4 %), Ca (3,3 %), Na (2,6 %), K (2,5 %), Mg (2,1 %), Ti (0,61 %).

Атоми більшості металів на зовнішньому енергетичному рівні мають від 1 до 3 електронів, тому у атомах металів перебуває надлишок орбіталей і нестача електронів. Під час зближення атомів валентні орбіталі сусідніх атомів перекриваються, внаслідок чого електрон вільно переміщується з однієї орбіталі на іншу, утворюючи

зв'язок між всіма атомами кристалу металу. Такий зв'язок називається *металевим зв'язком*. Металевий зв'язок мають всі метали. Електрони в металевому зв'язку переміщуються по всьому об'ємі кристалу і належать всім його атомам. Тому кристали з металевими зв'язками володіють магнітними властивостями, доброю теплопровідністю і електропровідністю, пластичністю, тобто вони змінюють форму під час удару, мають металевий блиск.

Хімічні властивості металів знаходяться у безпосередній залежності від їх будови. Головна і загальна хімічна властивість всіх металів – це ярко виражені відновні властивості, які визначаються їх здатністю до віддачі електронів. Метали як відновники вступають у реакцію з різними окисниками – неметалами, кислотами, солями менш активних металів. Взаємодія металів з деякими кислотами різної концентрації наведено у табл. 9.1.

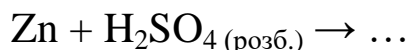
Таблиця 9.1

**Взаємодія металів із кислотами**

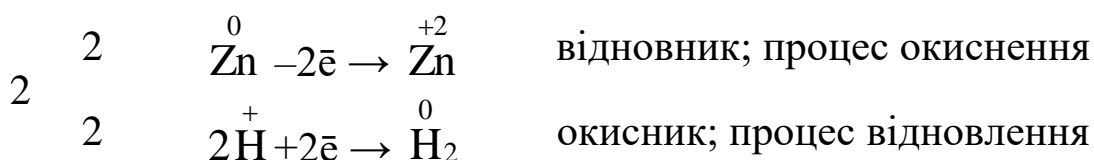
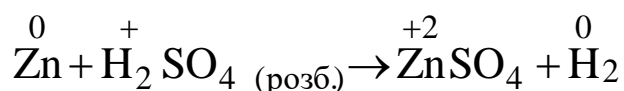
Метал	HCl і H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (розб.)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (конц.)	HNO <sub>3</sub>		
			Дуже розбавлена	Розбавлена	Концентрована
K Ca Na Mg Al		Сіль, H <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> S	Сіль, H <sub>2</sub> O, NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (+Zn, Fe)	Сіль, H <sub>2</sub> O, NO	Сіль, H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O
		≠ Al			
Mn Zn Fe Cr Co Ni Sn Pb	Сіль, H <sub>2</sub> ≠ Cr	≠ Fe ≠ Cr		Сіль, H <sub>2</sub> O, NO	≠ Fe ≠ Cr
		Сіль, H <sub>2</sub> O, S			≠
H					
Cu Ag Hg Pt Au	≠	Сіль, H <sub>2</sub> O, SO <sub>2</sub>			

## 9.2 Приклади розв'язання завдань

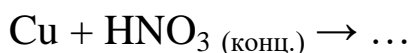
*Приклад 1.* Записати хімічну реакцію взаємодії цинку з розбавленою сульфатною кислотою



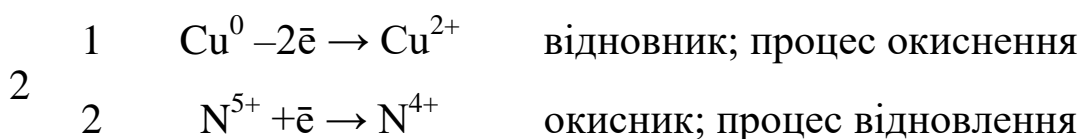
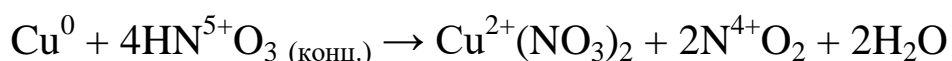
*Рішення:* згідно таблиці 7.1, з розбавленою сульфатною кислотою взаємодіють тільки ті метали, які у ряду активності металів знаходяться до Гідрогену. Метал є відновником, а Гідроген – окисником



*Приклад 2.* Записати та проставити відповідні коефіцієнти у хімічній реакції взаємодії міді з концентрованою нітратною кислотою



*Рішення:* згідно таблиці 7.1 з концентрованою нітратною кислотою мідь взаємодіє з утворенням солі, води та газу  $\text{NO}_2$ . Хімічне рівняння має вираз



## 9.3 Лабораторна робота «Хімічні властивості металів»

*Мета роботи:* дослідження фізико-хімічних властивостей основних конструкційних матеріалів та особливості процесу їх взаємодії з різними хімічними середовищами.

*Завдання:* записати рівняння хімічних процесів взаємодії кислот і лугів з металами різної активності; скласти ОВР, визначити окисник і відновник.

### **Порядок виконання роботи**

Дослід 1. *Дія кислот на метали.* В окремі пробірки помістити шматочки цинку та міді, прилити по 2-3 мл хлоридної кислоти. Спостерігати, що відбувається. Скласти рівняння реакцій, розставити коефіцієнти у рівняннях за допомогою методу електронного балансу. Визначити окисник і відновник.

Дослід 2. *Дія розбавленої сульфатної кислоти на метал.* В окремі пробірки з алюмінієм та міддю прилити по 2-3 мл розбавленої сульфатної кислоти і підігріти. Відмітити, що відбувається. Скласти рівняння реакцій, розставити коефіцієнти у рівнянні за допомогою методу електронного балансу. Визначити окисник і відновник.

Дослід 3. *Дія розбавленої нітратної кислоти на метал.* Шматочки міді і алюмінію помістити в окремі пробірки, прилити по 2-3 мл розбавленої нітратної кислоти і підігріти. Скласти рівняння реакцій, розставити коефіцієнти у рівнянні за допомогою методу електронного балансу. Визначити окисник і відновник.

Дослід 4. *Дія концентрованої нітратної кислоти на метали.* Шматочки міді і алюмінію помістити в окремі пробірки і прилити по 2-3 мл концентрованої нітратної кислоти. Пояснити явища, які відбуваються. Скласти рівняння реакцій, розставити коефіцієнти у рівнянні за допомогою методу електронного балансу. Визначити окисник і відновник.

Дослід 5. *Дія лугів на метали.* Помістити в окремі пробірки по шматочку заліза і алюмінію, прилити по 2-3 мл 30 %-го розчину лугу та підігріти. Пояснити явища, що відбуваються. Скласти рівняння реакцій.

Дослід 6. *Отримання гідроксидів металів.* В окремі пробірки налити по 2-3 мл розчинів солей алюмінію та міді. До кожної пробірки додати лугу до утворення осаду (осад зберегти). Скласти рівняння реакцій.

Дослід 7. *Відношення гідроксидів до кислот і основ.* Кожний із осадів, що отримали у досліді 6, поділити на 2 частини. На одну частину осаду подіяти нітратною кислотою, на другу – розчином

лугу. Звернути увагу на розчинність гідроксидів у кислоті і лугу. Написати рівняння реакцій у молекулярному і іонному вигляді. Визначити, який гідроксид є амфотерним.

Зробити висновок про виконану лабораторну роботу.

## **9.4 Лабораторна робота** **«Аналіз сплавів безстружковим методом»**

*Мета роботи:* дослідження типів сплавів.

*Завдання:* встановити склад сплаву спрощеним методом, записати рівняння відповідних хімічних реакцій.

### **Порядок виконання роботи**

Безстружковий метод використовують при аналізі готових виробів.

Дослід 1. *Аналіз алюмінієвих сплавів.* На поверхню зразка помістити 1-2 краплі 25 % розчину NaOH. Якщо через 2-3 хв відбувається скіпання рідини та виділення пухирців газу, то зразок відноситься до алюмінієвих сплавів. Написати рівняння реакції.

Дослід 2. *Аналіз магнієвих сплавів.* На поверхню зразка нанести 2 краплі 3 % розчину FeCl<sub>3</sub>. У випадку магнієвого сплаву на поверхні зразка з'явиться жовто-бурий осад основної солі заліза. Реакція відбувається у часі. Інші сплави не взаємодіють з цим реактивом. Рівняння реакції

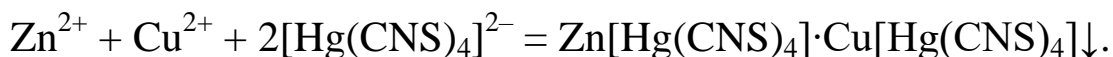


Дослід 3. *Аналіз мідних сплавів.* На поверхню зразка нанести краплю концентрованої HNO<sub>3</sub> (ρ = 1,4 г/см<sup>3</sup>). Через 2 хв на ту ж краплю нанести 2-3 краплі амоній гідроксиду. Поява синього забарвлення, що притаманне сполуці [Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>](NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, вказує на мідний сплав. Написати рівняння реакції.

Дослід 3.1. Латунь та бронза – це сплави на мідній основі, що відрізняються змістом другого головного компоненту: у латунях – цинк, у бронзах – олово.

На чисту поверхню зразка нанести краплю концентрованої HNO<sub>3</sub> (ρ = 1,4 г/см<sup>3</sup>). Через 1-2 хв рідину перенести капілярною піпеткою до мікропробірки та розбавити 5 краплями води. Додати

1 краплю розчину амоній тетра(тіоціонато-N)меркурат(II)  $(\text{NH}_4)_2[\text{Hg}(\text{CNS})_4]$ . У разі, якщо це латунь, з'явиться осад чорно-фіолетового кольору і рівняння реакції має вигляд



У випадку бронзи – зелений кольор.

Дослід 4. *Аналіз сплавів на основі сурми або олову.* На поверхню зразка на нести краплю концентрованої  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$ ). Поява білого осаду  $\text{H}_3\text{SbO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SnO}_3$  свідчить, що це сплав на основі сурми або олову



Дослід 5. *Аналіз сплавів на основі свинцю.* На поверхню зразка на нести краплю концентрованої  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$ ). Через 1-2 хв рідину перенести капілярною піпеткою до мікропробірки та додати 2-3 краплі розчину натрій ацетату і 1-2 краплі калій йодиду. Поява жовтого осаду  $\text{PbI}_2$  доводить присутність свинцю у сплаві. Написати рівняння реакції.

Дослід 6. *Аналіз сплавів на основі заліза.* На поверхню зразка нанести 1-2 краплі розбавленої  $\text{HNO}_3$ , додати розчин  $\text{NH}_4\text{CNS}$ . Поява стійкого темно-червоного осаду  $\text{Fe}(\text{CNS})_3$  свідчить, що це сплав на основі заліза. Написати рівняння реакції.

Для зміни властивостей сплавів заліза до них вводять у певних концентраціях легуючі добавки (хром, нікель, марганець та ін.).

Дослід 6.1. На поверхню зразка нанести краплю  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$ ). Через 5-6 хв зняти краплю фільтрувальним папірцем. На утворену вологу пляму нанести надлишок аміачного розчину  $\text{AgNO}_3$ . Поява чорного осаду доводить присутність марганцю у сплаві. Написати рівняння реакції.

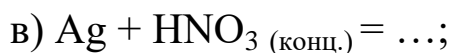
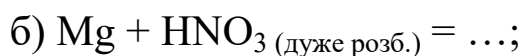
Дослід 6.2. На поверхню зразка нанести краплю концентрованої  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$ ), додати краплю води. Через 3 хв зняти краплю фільтрувальним папірцем. На утворену вологу пляму нанести краплю аміачного буферного розчину диметилгліоксиму. Поява синього осаду доводить присутність нікелю у сплаві. Написати рівняння реакції.

Дослід 6.3. На поверхню зразка нанести краплю 30 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , додати надлишок перекису водню  $\text{H}_2\text{O}_2$  до появи коричневого осаду. Суміш перенести на фільтрувальний папірець і поряд додати краплю розчину бензидину. Поява синього забарвлення доводить присутність хрому у сплаві. Написати рівняння реакції.

Зробити висновок про виконану лабораторну роботу.

## 9.5 Питання і задачі для самоконтролю

1. Які речовини називають металами? Що їх поєднує?
2. За яких властивостей розділяють метали?
3. Який метал є найпоширенішим? Як його застосовують у промисловості?
4. Який хімічний зв'язок називають металевим? За рахунок чого він утворюється?
5. Визначте, чим обумовлені фізичні та хімічні властивості металів?
6. Які загальні хімічні властивості мають всі метали? Наведіть приклади.
7. Який ряд називають рядом активності металів? Що за ним визначають?
8. Як змінюються відновні властивості металів у ряді активності металів?
9. Які метали мають амфотерні властивості? Наведіть приклади.
10. Дописати рівняння реакцій згідно табл. 8.1



## Тема 10 ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛЬВАНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Електрохімія вивчає велику галузь фізико-хімічних процесів, що умовно можна розділити на дві групи

– явища, пов'язані з виникненням різниці потенціалів і одержанням електричної енергії за рахунок окисно-відновної реакції (хімічні джерела струму);

– здійснення окисно-відновної реакції й одержання речовин за рахунок витрати електричної енергії (електроліз).

До першої групи явищ слід віднести й електрохімічну корозію, оскільки механізм виникнення корозійних струмів має ту ж природу, що і механізм одержання електричного струму у гальванічних елементах.

### 10.1 Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу

*Гальванічні елементи* (ГЕ) – це система або пристрій, у яких енергія гетерогенних окисно-відновних реакцій перетворюється у енергію електричну. Гальванічний елемент складається з двох електродів – металів, занурених у розчини електролітів, які сполучені між собою через пористу перегородку (мембрану). Робота всіх ГЕ основана на виникненні потенціалу на межі метал–електроліт. Різні за природою метали мають різну електролітичну пружність розчинення (тобто здатність посилати свої іони у розчин), тому при однакових умовах значення електродних потенціалів різних металів буде різною.

Абсолютне значення стандартного електродного потенціалу ( $E^0$ ) визначити неможливо. На практиці визначають різницю потенціалів, тобто потенціал даного електроду щодо іншого електроду, потенціал якого прийнято за стандарт. Найчастіше як таким стандартним електродом виступає нормальний (стандартний) водневий електрод, потенціал якого прийнято за 0 В. Значення електродного потенціалу залежить від природи металу, температури та концентрації електроліту. Тому величину електродних потенціалів ( $E$ ) можна обчислити за *рівнянням Нернста*

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln C_{\text{Me}^{n+}}, \quad (10.1)$$

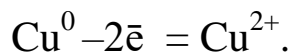
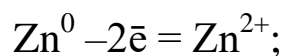
де  $E$  – електродний потенціал даного електроду, В;  
 $E^0$  – стандартний електродний потенціал даного електроду, відносно нормального водневого електроду за умови, що концентрація іонів металу дорівнює 1 моль/л, В (додаток табл. Д4);  
 $R$  – універсальна газова постійна;  
 $T$  – абсолютна температура, К;  
 $n$  – число електронів у реакції окиснення металу;  
 $F$  – постійна Фарадея;  
 $C_{\text{Me}^{n+}}$  – концентрація іонів металу в електроліті, моль/л.

Якщо прийняти, що температура, за якою визначається потенціал, дорівнює 25 °С (298 К), то після невеликих перетворень маємо зручну для більшості розрахунків формулу

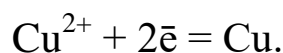
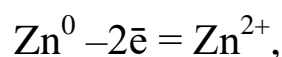
$$E = E^0 + \frac{0,059}{n} \lg C_{\text{Me}^{n+}}. \quad (10.2)$$

У найпростішому випадку (елемент Даниеля-Якобі) гальванічний елемент складається з пластин двох металів: міді та цинку, занурених у розчин власних солей  $\text{CuSO}_4$  і  $\text{ZnSO}_4$ . Для попередження зливання розчини розділені пористою аніонитовою мембраною (рис. 10.1).

При розімкненому ланцюзі на кожному металі відбуваються реакції



Якщо замкнути ланцюг, то цинк як активніший метал, почне окиснюватися, а іони міді – відновлюватися



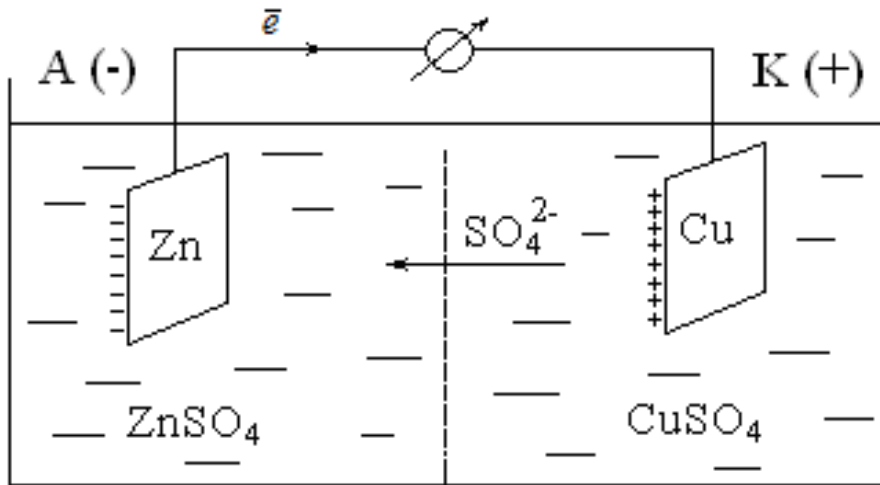
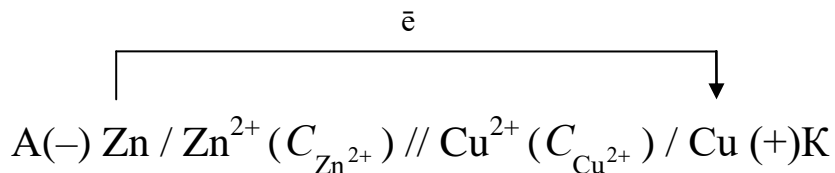


Рис. 10.1. Гальванічний елемент Даніеля-Якобі

Електрод, на якому протікає процес окиснення (цинк), називається анодом. На ньому створюється надлишок негативних зарядів, він заряджений негативно А(-). Електрод, на якому протікає процес відновлення (мідь), називається катодом, він заряджений позитивно К(+).

Гальванічні елементи прийнято позначати у вигляді схеми. Наприклад, схема елемента Даніеля-Якобі має вигляд



Перенесення  $\text{SO}_4^{2-}$ -іонів з катодного в анодний простір відбувається з причини нестачі їх в анодному просторі, де в розчин переходить додаткова кількість іонів цинку  $\text{Zn}^{2+}$ . І, навпаки, є надлишок аніонів в катодному просторі, де іони міді  $\text{Cu}^{2+}$  осаджуються на мідний електрод. По зовнішньому ланцюгу струм рухається від анода до катода.

Електрорушійну силу (ЕРС) гальванічного елемента розраховують як різницю потенціалів катода й аноду

$$\text{ЕРС} = E_{\text{к}} - E_{\text{а}} > 0. \quad (10.3)$$

ЕРС вимірюється у вольтах.

Теоретично, будь-яка окисно-відновна реакція (ОВР) може бути джерелом струму, тому для будь-якої ОВР можна розрахувати ЕРС за формулою

$$E_{PC} = \Delta E = E_{\text{окисника}} - E_{\text{відновника}} \quad (10.4)$$

ЕРС визначена за стандартних умов називається *стандартною електрорушійною силою* ( $E_{PC}^0$ ). Її розраховують як різницю стандартних електродних потенціалів катоду й аноду

$$E_{PC}^0 = E_{\kappa}^0 - E_{\alpha}^0 > 0, \text{ В.}$$

Тобто, для наведеного елемента Даниеля-Якобі ЕРС можна розраховувати за двома варіантами.

*Перший випадок.* Коли не задані концентрації солей, розраховують стандартну  $E_{PC}^0$

$$E_{PC}^0 = E_{\text{кат.}}^0 - E_{\text{анод}}^0 = E_{\text{Cu}}^0 - E_{\text{Zn}}^0 = +0,34 - (-0,76) = 1,10 \text{ В.}$$

*Другий випадок.* Коли задані концентрації електролітів. Наприклад, концентрації солей:  $C_{\text{Cu}^{2+}} = 1$  моль/л,  $C_{\text{Zn}^{2+}} = 0,0001$  моль/л. В цьому випадку для розрахунку величин електродних потенціалів ( $E$ ) відповідних електродів використовують рівняння Нернста

$$E_{PC} = E_{\text{Cu}} - E_{\text{Zn}} = E_{\text{Cu}}^0 + \frac{0,058}{2} \lg 1 - (E_{\text{Zn}}^0 + \frac{0,058}{2} \lg 10^{-4}) = 0,34 - (-0,76 - 2 \cdot 0,058) = 0,34 + 0,876 = 1,216 \text{ В.}$$

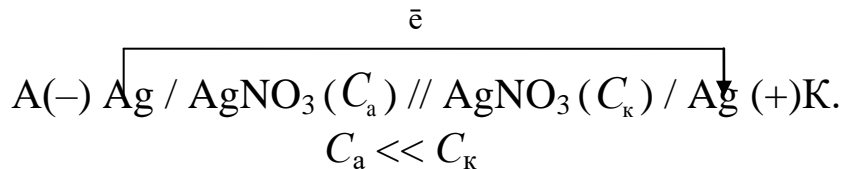
Щоб отримати довгопрацюючий елемент, тобто з довгим терміном роботи необхідно взяти метали з малою різницею стандартних потенціалів, що знаходяться у ряді напруг близько один від одного.

Щоб отримати елемент з великою ЕРС, але коротким часом роботи, потрібно взяти метали, які розташовані далеко один від одного в ряду напруг металів.

В даний час анод гальванічних елементів найчастіше виготовляється з цинку, а в якості речовини для катода застосовуються оксиди менш активних металів.

Гальванічні елементи класифікують на термогальванічні і концентраційні. *Термогальванічний* елемент – це гальванічний

елемент, у якому однакові електроди нагріті до різних температур. *Концентраційний елемент* – це гальванічний елемент, у якому обидва електроди виготовлено із одного металу, які занурені у розчини власних солей різних концентрацій. Концентрація розчину в анодному просторі має бути набагато меншою, ніж у катодному просторі. Наприклад, схема срібного концентраційного елемента має вигляд



ЕРС для концентраційного гальванічного елемента розраховують у вольтах (В) за формулою

$$EPC = \frac{0,059}{n} \lg \frac{C_k}{C_a}, \quad (10.5)$$

де  $C_k$  – концентрація електроліту у катодному просторі, моль/л;  
 $C_a$  – концентрація електроліту в анодному просторі, моль/л.

Проблема накопичення енергії – одна з найважливіших науково-технічних проблем сучасності. Тому, у сучасному суспільстві формується розуміння необхідності розвивати альтернативні джерела енергії, які здатні вирішити проблему енергозбереження та раціонального використання енергоресурсів. Обмеженість природної сировини і забруднення навколишнього середовища при спалюванні палива зумовлюють необхідність створення джерел енергії з високим ККД, економічних та екологічно чистих. Одним з напрямків створення таких джерел енергії – це перетворення хімічної енергії в електричну. Для реалізації цього напряму потрібно просторово розділити процеси окиснення і відновлення. Це і здійснюється в хімічних джерелах струму (ХДС). ХДС застосовують в автомобілях, дорожніх і будівельних машинах та інших механізмах. З розвитком і удосконаленням ХДС пов'язані перспективи розвитку автомобілебудування.

Гальванічні елементи або хімічні джерела струму (ХДС) ділять на три групи

- I. Первинні гальванічні елементи, наприклад
  1. марганцево-цинкові елементи;

2. ртутно-цинкові елементи;
  3. «дихаючі» елементи;
  4. резервні (наливні, ампельні, теплові).
- II. Вторинні гальванічні елементи (акумулятори)
1. кислотні (свинцевий акумулятор);
  2. лужні (наприклад, залізо-нікелеві, нікель-кадмієвий, срібно-цинковий акумулятори);
  3. перспективні (наприклад, літій-іонні, літій-полімерні акумулятори).
- III. Паливні елементи (наприклад, воднево-кисневий елемент).

## 10.2 Приклади розв'язання завдань

*Приклад 1.* Розрахувати електродні потенціали магнію у розчині його солі при концентраціях іону  $Mg^{2+}$ : 0,1; 0,01; 0,001 моль/л. Порівняйте активність електродів.

<p><i>Дано:</i>  <math>C_{Mg^{2+}} = 0,1; 0,01;</math>  0,001 моль/л  <hr/> <math>E - ?</math></p>	<p><i>Рішення:</i> стандартний електродний потенціал системи <math>E^0_{Mg^{2+}/Mg} = -2,36</math> В (див. додаток табл. Д3), тому використовуємо рівняння Нернста (10.2)</p> $E_1 = -2,36 + \frac{0,059}{2} \lg 0,1 = -2,39 \text{ В};$ $E_2 = -2,36 + \frac{0,059}{2} \lg 0,01 = -2,42 \text{ В};$ $E_3 = -2,36 + \frac{0,059}{2} \lg 0,001 = -2,45 \text{ В}.$ <p>Відповідь: електродні потенціали магнію у заданих розчинах мають значення <math>E_1 = -2,39</math> В; <math>E_2 = -2,42</math> В; <math>E_3 = -2,45</math> В. Таким чином, чим нижче концентрація електроліту, тим вище активність електроду.</p>
--	--

*Приклад 2.* Складіть схему залізо-свинцевого гальванічного елемента, напишіть рівняння електродних реакцій, розрахуйте наближене значення його ЕРС.

Дано:

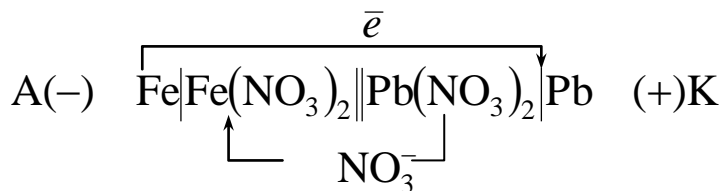
$$E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 = 0,44 \text{ В;}$$

$$E_{\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}}^0 = 0,13 \text{ В}$$

---

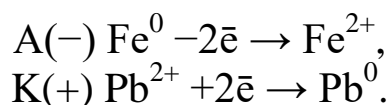
ЕРС<sup>0</sup> – ?

Рішення: згідно розташуванню металів у ряду напруг (див. додаток табл. Д3) Fe є анодом, Pb – катодом. Схема гальванічного елемента має вигляд



Солі металів  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  і  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  повинні бути розчинними. Це перевіряють за таблицею розчинності (див. додаток табл. Д2).

Електродні реакції



Розрахунок ЕРС (див. додаток табл. Д3) за формулою (10.3)

$$\text{ЕРС} = E_{\text{Pb}}^0 - E_{\text{Fe}}^0 = -0,13 - (-0,44) = 0,31 \text{ В.}$$

Відповідь: 0,31 В

Приклад 3. Складіть схему гальванічного елемента, у якому електроди залізо і мідь, занурені у розчини своїх солей з молярною концентрацією іонів відповідно 1 і 0,1 моль/л. Розрахуйте його ЕРС.

Дано:

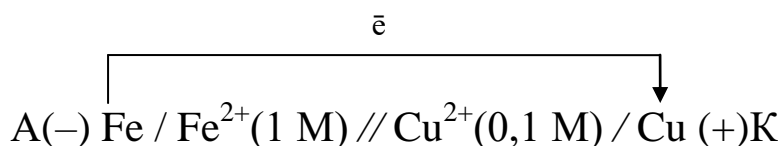
$$C_{\text{Fe}^{2+}} = 1 \text{ моль/л}$$

$$C_{\text{Cu}^{2+}} = 0,1 \text{ моль/л}$$

---

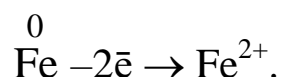
ЕРС – ?

Рішення: схема гальванічного елемента має вигляд

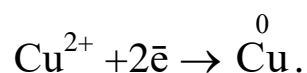


Вертикальна риска позначає поверхню розподілу між електродами (металами) і розчином, а дві риски – границю розподілу рідких фаз. Згідно додатку табл. Д3, залізо має менший потенціал (–0,44 В) (у порівнянні

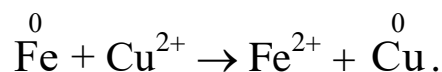
з міддю) і є анодом, на якому протікає окисний процес



Мідь, електродний потенціал якої +0,34 В (див. додаток табл. Д3), є катодом, тобто електродом, на якому протікає відновний процес



Рівняння окисно-відновної реакції, яка характеризує роботу даного гальванічного елемента, має вигляд



ЕРС гальванічного елемента визначаємо як різницю електродних потенціалів катоду та аноду за формулою (10.3)

$$\text{ЕРС} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} - E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}.$$

Використовуючи рівняння Нернста (10.2) знаходимо електродні потенціали катоду та аноду

$$E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} = -0,44 - \frac{0,059}{2} \lg 1 = -0,44 \text{ В};$$

$$E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = +0,34 - \frac{0,059}{2} \lg 0,1 = 0,31 \text{ В}.$$

Тоді,

$$\text{ЕРС} = 0,31 - (-0,44) = 0,75 \text{ В}.$$

Відповідь: ЕРС наведеного гальванічного елемента дорівнює 0,75 В.

**Приклад 4.** Складіть схему, напишіть електронні рівняння електродних процесів і обчисліть ЕРС гальванічного елементу, що складається зі срібних електродів, занурених відповідно у 0,01 М та 0,1 М розчини аргентум нітрату.

Дано:

$$C_{\text{Ag}^+} = 0,01 \text{ моль/л}$$

$$C_{\text{Ag}^+} = 0,1 \text{ моль/л}$$

ЕРС – ?

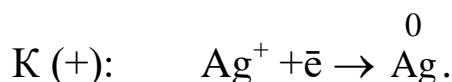
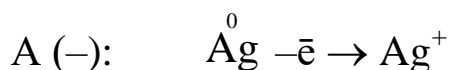
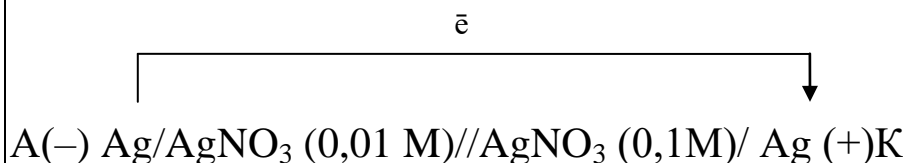
*Рішення:* стандартний електродний потенціал  $E^0_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} = 0,80 \text{ В}$  (див. додаток табл. ДЗ).

Позначимо потенціал першого електроду  $E_1$ , а другого –  $E_2$ , тоді

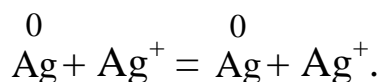
$$E_1 = 0,80 + 0,059 \lg 0,01 = 0,68 \text{ В};$$

$$E_2 = 0,80 + 0,059 \lg 0,1 = 0,74 \text{ В}.$$

Оскільки  $E_1 < E_2$ , то перший електрод є негативним полюсом елементу (анод), і електрони будуть переміщатись від нього до другого електроду (катод). Тобто, схема срібного концентраційного елементу має вигляд



Сумарний процес виглядає



Тоді,

$$\text{ЕРС} = \frac{0,059}{1} \lg \frac{0,1}{0,01} = 0,059 \text{ В}.$$

Відповідь: ЕРС наведеного концентраційного гальванічного елементу дорівнює 0,059 В.

## 10.3 Лабораторна робота «Дослідження електрохімічних процесів гальванічних елементів»

*Мета роботи:* дослідження фізико-хімічних закономірностей процесів, що лежать в основі дії гальванічного елемента.

*Завдання:* визначити матеріал аноду і катоду для будови гальванічного елемента; записати схему цього елемента та електродні реакції, що лежать в основі отримання електричної енергії у гальванічному елементі; розрахувати ЕРС відповідного гальванічного елемента.

### Порядок виконання роботи

Дослід 1. Дослідження електрохімічних процесів у мідно-цинковому гальванічному елементі. Зібрати електричну схему з гальванічним елементом відповідно рис. 9.1.

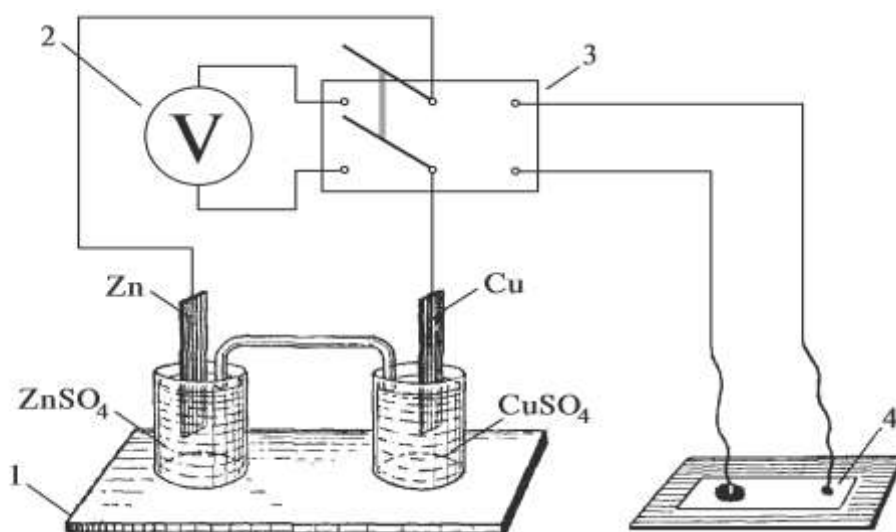


Рис. 10.1. Схема з гальванічним елементом: 1 – гальванічний елемент; 2 – вольтметр; 3 – перемикач; 4 – фільтрувальний папір.

Один хімічний стакан заповнити 1 М розчином цинк сульфату, другий – 1 М розчином купрум(II) сульфату. Обидва стакани з'єднати скляною трубкою, яка заповнена агар-агаром, просоченим насиченим розчином калій хлориду (електролітичним ключем). У

перший стакан занурте зачищену наждачним папером цинкову пластину, у другий – мідну. Контактний провід від цинкового електроду приєднати до клеми мікроамперметра зі знаком (-). Замкнути вимикачем вимірювальне електричне коло схеми та виміряти різницю потенціалів, порівняти її з теоретичною ЕРС. Скласти електрохімічну схему гальванічного елемента та навести рівняння реакцій, що відбуваються на електродах під його час роботи.

*Дослід 2. Дослідження електрохімічних процесів у залізо-мідному гальванічному елементі.* Виконати дослід 2, взявши замість цинкової пластинки залізу. Відповідними розчинами будуть: 1 М розчин ферум(II) сульфату і 1 М розчин купрум(II) сульфату. Провести вимірювання, скласти електрохімічну схему гальванічного елемента та навести рівняння реакцій, що відбуваються на електродах під час його роботи.

*Дослід 3. Дослідження електрохімічних процесів у контрольних гальванічних елементах.* Наповнити хімічні стакани розчинами купрум(II) сульфату різної концентрації (завдання видає викладач). З'єднати їх електrolітичним ключем. Занурити в обидва стакани мідні пластинки.

Визначити ЕРС та напругу елемента при незамкненому зовнішньому електричному колі. Записати рівняння електродних реакцій. Розрахувати теоретичну ЕРС елемента (див. додаток табл. Д4) та порівняти її з експериментально виміряною величиною.

Зробити висновок про виконану лабораторну роботу.

## **10.4 Питання і задачі для самоконтролю**

1. Що називають електродним потенціалом металу?
2. Який електродний потенціал називають стандартним? Як його визначають?
3. Від яких чинників залежить електродний потенціал металу? Як його розрахувати? Наведіть приклад.
4. Як скласти гальванічний елемент? Наведіть приклад.
5. Які процеси відбуваються у гальванічному елементі?
6. У якому напрямку протікає окисно-відновна реакція у гальванічному елементі?

7. Який метал буде негативним і який позитивним полюсом гальванічного елементу з цинковим і срібним електродами, які занурені у розчини їх солей? Відповідь мотивуйте. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д2 і Д3)

8. Розрахуйте електродний потенціал міді у розчинах її солі концентрацій, моль/л: 0,1; 0,01; 0,0001. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д2 і Д3)

9. При якій концентрації іонів  $Pb^{2+}$  рівноважний потенціал свинцевого електроду при 298 К буде дорівнювати стандартному потенціалу нікелевого електроду? (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д2 і Д3)

10. Визначити ЕРС гальванічного елементу з цинковим електродом, який занурено у 0,0001М розчин цинк сульфату, та нікелевим електродом, який занурено у 0,1М розчин нікель сульфату. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д3).

11. Складіть схеми двох гальванічних елементів, в одному з яких нікель є катодом, а в іншому – анодом. Напишіть рівняння процесів, які протікають на нікелевих електродах під час роботи елементів в першому і в другому випадках. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д2 і Д3)

12. Які гальванічні елементи називаються концентраційними? Скласти гальванічний концентраційний елемент, в якому електроди виготовлено з кобальту. Розрахувати його ЕРС, якщо  $C_a = 0,001$  моль/л,  $C_k = 1$  моль/л. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д2 і Д3).

# Тема 11 КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ. ЗАХИСТ МЕТАЛІВ ВІД КОРОЗІЇ

## 11.1 Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу

*Корозія металів* – мимовільний процес руйнування металу, який протікає під дією навколишнього середовища. Корозію варто відрізняти від ерозії – механічного руйнування. Корозія приносить величезну шкоду. Основні втрати від корозії пов'язані не лише з безповоротною втратою металу, а із псуванням виробів, під дією корозії.

Метали за *корозійною стійкістю* класифікують

- за положенням металу в періодичній системі елементів;
- за величиною стандартного електродного потенціалу.

*Класифікація металів за корозійною стійкістю в залежності від положення металу в періодичній системі елементів*

1. Метали I та II груп головної підгрупи найменш стійкі до корозії. На повітрі поверхня цих металів покривається плівкою, що складається з  $MeO$ ,  $Me(OH)_2$ ,  $MeCO_3$ .

2. Метали II групи побічної підгрупи (Zn та ін.) більш стійкі до корозії. На їх поверхні утворюється тонка, але міцна плівка оксидів.

3. Метали Al, Fe, Co, Ni, а також побічна підгрупа V групи (Nb, Ta) і VI групи (Cr, Mo, W) відносяться до металів, що легко пасивуються. На їх поверхні утворюється плівка оксидів, що володіє захисними властивостями.

4. Метали IV групи побічної підгрупи (Sn та ін.) порівняно стійкі метали.

5. Найбільш стійкі до корозії благородні метали Au, Ag та метали платинової групи: Ru, Rh, Pd, Os, Ir.

*Класифікація металів за їх корозійною стійкістю в залежності від величини стандартного електродного потенціалу металу*

1.  $E^0 < -0,415$  В. Метали підвищеної нестабільності. Кородують навіть в нейтральних водних середовищах, що не містять  $O_2$  (метали від початку ряду напруги: Na, Mg, Zn до кадмію Cd).

2.  $-0,415$  В  $< E^0 < 0$  В. Метали нестабільні. Стійкі тільки в нейтральних середовищах в присутності  $O_2$ . Кородують в кислих середовищах (Cd, Ni, Sn) навіть у відсутності  $O_2$ .

3.  $0 \text{ В} < E^0 < +0,815 \text{ В}$ . Метали проміжної стабільності. Стійкі в нейтральних і кислих середовищах у відсутності  $\text{O}_2$  (Ві, Сu, Аg). Кородують в нейтральних і кислих середовищах у присутності  $\text{O}_2$ .

4.  $+0,815 \text{ В} < E^0 < +1,23 \text{ В}$ . Метали високої стабільності. Кородують в нейтральних середовищах навіть у присутності  $\text{O}_2$  (Pd, Ir, Pt).

5.  $E^0 > +1,23 \text{ В}$ . Метали повної стабільності. Кородують в кислому і нейтральних середовищах навіть у присутності  $\text{O}_2$ . Можуть розчинятись в розчинах комплексоутворювачів (Au).

Також існує класифікація корозійних процесів

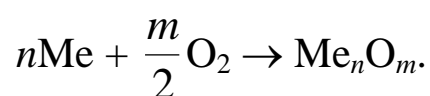
– за видом поразок (загальна; місцева; нитковидна; міжкристалічна);

– за механізмом протікання (хімічна і електрохімічна (велика частка));

– за умовами протікання.

Слід чітко розрізняти механізм протікання хімічної і електрохімічної корозії. *Хімічна корозія* – окисно-відновний процес руйнування металів під дією навколишнього середовища, який відбувається за високих температур та не супроводжується виникненням електричних корозійних струмів. За умовами протікання хімічна корозія буває газова та у в середовищі рідин-неелектролітів.

*Газова корозія* – найбільш розповсюджений вид хімічної корозії, що зумовлюється взаємодією металів з  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  і іншими газами. Хімізм корозії під впливом кисню має вираз рівняння



Тобто, за механізмом протікання корозійних процесів – це звичайна гетерогенна окисно-відновна реакція.

Швидкість окиснення металу і захисні властивості оксидних плівок залежать від цілісності (суцільності) оксидної плівки і швидкості дифузії окисника через плівку. Суцільність плівки і її захисні властивості визначають фактором Пілінга-Бедворджа

$$\alpha = \frac{V_{\text{Me}_m\text{O}_n}}{V_{\text{Me}}}, \quad (11.1)$$

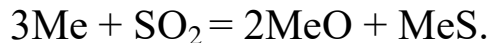
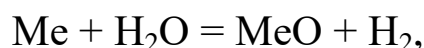
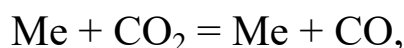
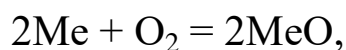
де  $V_{Me_mO_n}$  – молекулярний об'єм оксидної плівки;

$V_{Me}$  – молекулярний об'єм металу, що витрачено на утворення оксидної плівки.

Якщо  $1 < \alpha < 2,5$ , то така плівка має захисні властивості.

На швидкість газової корозії впливають природа металу, склад газового середовища, тиск, температура. Зазвичай з зростанням температури швидкість корозії зростає. Тиск кисню робить великий вплив на швидкість корозії. З підвищенням тиску газу швидкість корозії збільшується до певної межі, а потім різко зменшується. Це явище отримало назву високотемпературної пасивації. Воно пов'язане з утворенням міцної захисної плівки на поверхні металу.

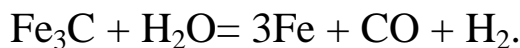
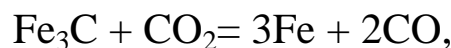
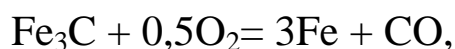
В залежності від складу газового середовища при високих температурах метали можуть взаємодіяти з  $O_2$ , парами  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ :



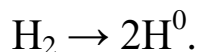
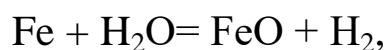
Швидкість цих реакцій залежить від природи металу.

Основні випадки газової корозії:

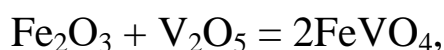
1. *Зневуглецювання* (декарбюрізація) сталі відбувається при нагріванні в атмосфері, що містить  $O_2$ , пари  $H_2O$ ,  $CO_2$ . В результаті цього сталь стає менш міцною:



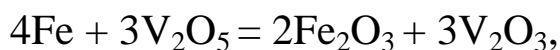
2. *Наводнення сталі* – проникнення водню в сталь, відбувається, коли у середину сталі проникають атоми водню. Можливо тільки за високих температур, тому тільки за таких умов відбувається дисоціація молекули  $H_2$  на атоми. В результаті цього сталь стає крихкою, різко зменшується пластичність, міцність. Приклади хімічної взаємодії:



3. *Ванадієва корозія* сталевих деталей відбувається в тому випадку, якщо в продуктах згоряння палива міститься оксид ванадію  $\text{V}_2\text{O}_5$ . Має місце у випускному тракті автомобільного двигуна. Зола з оксидом ванадію потрапляє на поверхню сталевих деталей і сприяє підвищенню швидкості корозії, тому оксид ванадію здатний розчиняти захисні оксидні плівки на залізі:



а також здатний окислювати залізо:



Таким же чином  $\text{V}_2\text{O}_5$  сприяє корозії нікелю та хрому, сплави яких використовуються в автомобілебудуванні.

*Хімічна корозія металів у середовищі неелектроліту* – це корозія в органічних і нафтових маслах, середовищах гарячої сірки S і бромної води, розплавах металів. Рідкий бром викликає посилену корозію великого числа металів. Стійкі в ньому лише Fe, Pb, Pt, Au. У розплаві сірки кородують з утворенням сульфідів металів практично всі метали, окрім алюмінію і титану. Утворені в результаті корозії плівки сульфідів не міцні і не захищають надалі метал від дії сірки. Загальний знос деталей автомобіля прямо пропорційний вмісту сірки в паливі.

Найбільший збиток техніці і промисловості наносить електрохімічна корозія. *Електрохімічна корозія* – це процес руйнування металів у середовищі електролітів, що супроводжується появою електричного струму. Механізм електрохімічної корозії полягає в утворенні на поверхні металу мікрогальванічних елементів. Механізм контактної корозії пов'язано з виникненням мікро- чи макрогальванопар



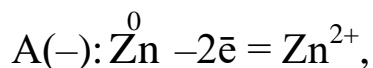
де Д – деполяризатор (середовище).

При цьому анодний процес – процес окиснення (руйнування) більш активного металу, а катодний – процес відновлення. Деполяризатором-окисником виступають іони  $\text{H}^+$  (у кислому середовищі:  $2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2$ ) або  $\text{O}_2$  (у нейтральному чи лужному середовищі:  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$ ).

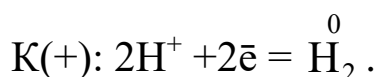
Як приклад електрохімічної корозії розглянемо дію сульфатної кислоти на технічний цинк, який містить домішки заліза. На поверхні такого цинку виникає багато мікроскопічних гальванічних елементів



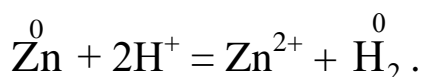
де цинк є анод, а залізо – катод (див. додаток табл. Д3). На цинку протікає анодний процес ( процес окиснення)



а на залізі – катодний процес ( процес відновлення)



Крім цього, цинк може розчинятись і при безпосередній взаємодії з кислотами за результатом реакції



Але дослід показує, що швидкість цієї реакції дуже мала порівняно зі швидкістю розчинення цинку як аноду гальванопари.

Електрохімічна корозія за умовами протікання буває атмосферна, контактна, при різному доступі  $\text{O}_2$ , ґрунтова, морська, фретингова-корозія (агресивне середовище та сили тертя), кавітація (ударна дія корозійного середовища), електрокорозія під дією блукаючих струмів.

Розглянемо окремі види електрохімічної корозії.

*Атмосферна корозія* – це корозія металів у вологому повітрі при звичайних температурах. Поверхня металу, що знаходиться у вологому повітрі, буває покрита водою, що містить різні гази, і, в першу чергу, кисень. Ділянки контакту  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  і металу стають катодами, ділянки металу, покриті вологою і недоступні для  $\text{O}_2$  – анодом. Швидкість атмосферної корозії залежить від температури, вологості повітря, механічного навантаження, рН середовища.

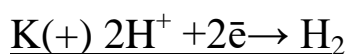
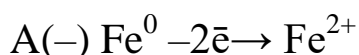
*Електрохімічна корозія при різному доступі кисню* спостерігається в тих випадках, коли деталь знаходиться в розчині, але доступ розчиненого кисню до різних її частинах неоднаковий. При цьому ті частини металу, доступ кисню до яких мінімальний, кородують значно сильніше тих частин, доступ кисню до яких більше. Різний доступ кисню до поверхні металу може бути причиною електрохімічної корозії в ґрунті (рис. 11.7).

Часто відбувається спільна хімічна і електрохімічна корозія. Так, наприклад, у двигунах автомобілів при невисоких температурах конденсується вода, в якій розчиняється  $\text{SO}_2$  і  $\text{SO}_3$  (продукти згоряння палива) і протікає електрохімічна корозія в кислому середовищі.

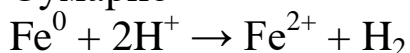
*Контактна корозія* виникає, коли два метали з різними потенціалами торкаються один з одним у водному середовищі, або при наявності вологи (зварний шов, порушення цілісності захисного металевого покриття). Метали поляризують один одного; метал з меншим потенціалом поляризується анодно, і швидкість його корозії поблизу місця контакту різко зростає.

Наприклад, корозія контактної пари Fe/Cu у різних середовищах записується рівняннями

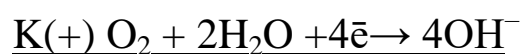
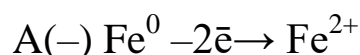
Кисле середовище



Сумарно



Нейтральне середовище



Сумарно



Продукти корозії: у кислому середовищі – сіль електрохімічно активного металу; в лужному середовищі – гідроксид електрохімічно активного металу. У лужному середовищі корозія металів найчастіше не протікає, тому вже в нейтральному середовищі утворюються іони  $\text{OH}^-$  і рівновага катодної реакції зміщується вліво при збільшенні концентрації  $\text{OH}^-$  –іонів.

Найбільш сприятливі умови протікання електрохімічної корозії: контакти металів, неоднорідність захисних покриттів і оксидів, відмінність у внутрішніх напруженнях, неоднорідність концентрацій рідкої фази, неоднорідність нагрівання, щілині та зазори.

За впливом кислотності розчину (рН середовища) на процес електрохімічної корозії всі метали поділяють на три основні групи, кожна з якої має свій вид залежності

1. Метали малостійкі в кислотних розчинах, але стійкі в нейтральних та лужних середовищах – Ni, Cd, Fe, Mg, Cu, Mn.

2. Метали з високою корозійною стійкістю в кислих, нейтральних і лужних середовищах, такі як Ag, Au, Pt, Pd та інші. Швидкість їх корозії не залежить від рН розчину.

3. Метали, що стійкі в розчинах близьких до нейтральних, але руйнуються в лужних і кислотних через амфотерність – Zn, Al, Sn, Pb. Наприклад, для цинку та алюмінію у кислотах утворюються катіони  $Zn^{2+}$  і  $Al^{3+}$ , а в лугах – аніони  $ZnO_2^{2-}$  і  $AlO_2^-$ .

Подібні залежності швидкості корозії мають місце при відсутності окислювачів та інших іонів, що утворюють захисні шари на металах.

Виділяють три основні підходи, що обумовлюють захист металевих виробів від корозії

– дія на метал (легування; нанесення металевих і неметалічних покриттів, електрохімічний захист);

– дія на агресивне середовище (створення інертної атмосфери, знекиснення агресивного середовища, ведення інгібіторів);

– раціональне конструювання виробів (зведення до мінімуму контактів різних металів, ізоляційні прокладки, заміна металевих деталей на деталі з некорозійних матеріалів, зменшення кількості щілин та зазорів, урахування можливості повторного нанесення захисних покриттів та ін.).

## 11.2 Приклади розв'язання завдань

*Приклад 1.* Одна залізна деталь покрита хромом, а інша – міддю. Яке покриття буде анодним, а яке катодним? Складіть схеми катодного й анодного процесів, що будуть протікати у вологому середовищі, якщо покриття в обох випадках порушено. Які продукти корозії утворяться у цих випадках?

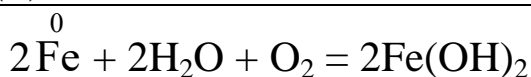
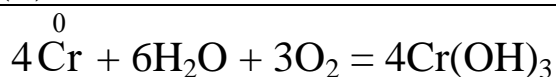
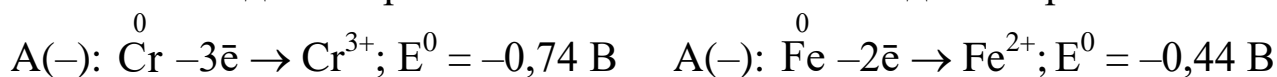
*Рішення:* порушення металевого покриття при наявності електроліту призводить до виникнення гальванопари, у якій покриття може виконувати роль анода (анодне покриття) чи роль катода (катодне покриття). Оскільки електродний потенціал заліза менший,

ніж у міді і більший, ніж у хрому (див. додаток табл. Д3), то хромове покриття є анодним, а мідне – катодним. При порушенні покриття виникають такі гальванопари



Анодне покриття

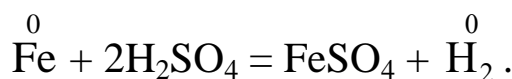
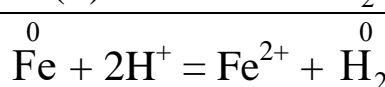
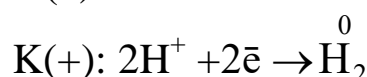
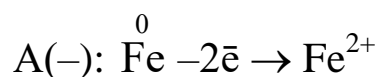
Катодне покриття



*Висновок:* руйнується покриття. *Висновок:* руйнується деталь.

*Приклад 2.* Залізні цистерни застосовують для транспортування концентрованої сульфатної кислоти. Якщо з цистерни вилити кислоту і залишити на повітрі відкритою, то вона порівняно швидко ржавіє. Чому? Складіть електронні рівняння за цією корозією.

*Рішення:* відомо, що пасивними ділянками (мікрокатадами) у вуглецевій сталі є зерна карбиду заліза  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Зерна  $\alpha$ -заліза – мікроаноди. У даному випадку створюється гальванопара “метал–сполука металу”. Корозія у кислому середовищі (у концентрованій сульфатній кислоті) відбувається з водневою деполяризацією



*Приклад 3.* В контакті знаходяться метали: Mn і Ni; Fe і Ni; Cu і Ni. У якому випадку корозія протікає більш інтенсивно і чому? Який це тип корозії? Напишіть рівняння корозії у нейтральному і кислому середовищах.

*Рішення:* більш інтенсивно корозія протікає при більшому значенні ЕРС гальванічної пари. Розрахуємо ЕРС гальванічних пар.

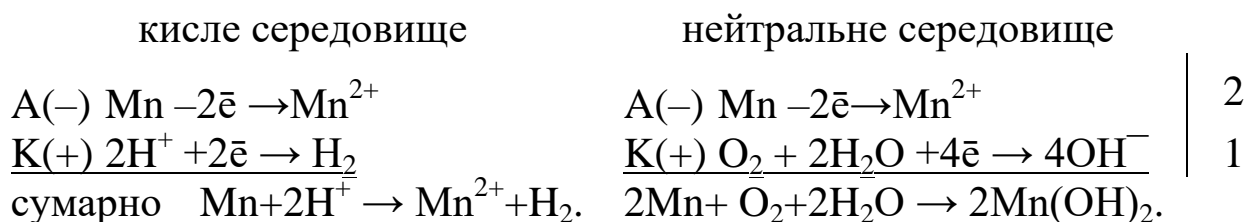
$$EPC_{Mn|Ni} = E_{Ni}^0 - E_{Mn}^0 = -0,25 - (-1,18) = 0,93 \text{ В};$$

$$EPC_{Fe|Ni} = E_{Ni}^0 - E_{Fe}^0 = -0,25 - (-0,44) = 0,19 \text{ В};$$

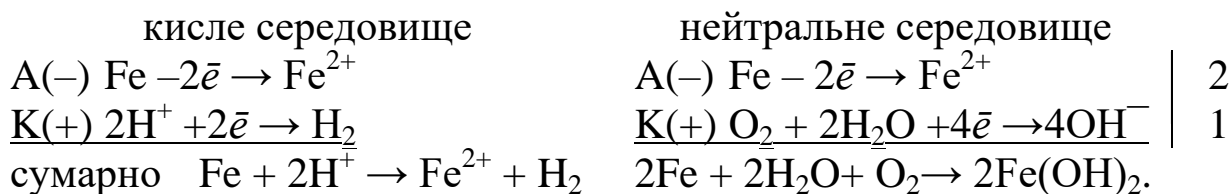
$$EPC_{Ni|Cu} = E_{Cu}^0 - E_{Ni}^0 = 0,34 - (-0,25) = 0,59 \text{ В}.$$

Корозія марганцю протікає інтенсивніше, ніж корозія Fe і Ni у двох інших гальванопарах, так як  $EPC_{Mn|Ni}$  має найбільше значення.

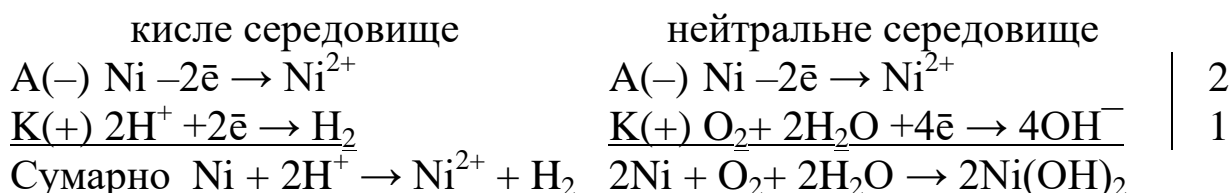
Рівняння анодної і катодної реакцій корозії для пари Mn/Ni



Рівняння анодної і катодної реакцій корозії для пари Fe|Ni



Рівняння анодної і катодної реакцій корозії для пари Cu/Ni

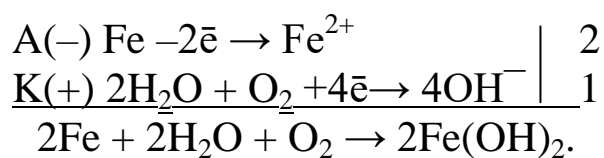


Розглянуті випадки корозії відносяться до електрохімічної контактної корозії.

*Приклад 4.* Якщо на сталевий предмет нанести краплю води, то корозії піддається середня, а не зовнішня частина металу. Після висихання краплі у її центрі з'являється пляма іржі. Чим це пояснюється? Яка ділянка металу, що знаходиться під краплею води, є анодною і яка катодною? Складіть електронні рівняння відповідних процесів.

*Рішення:* крапля води розтікається на поверхні металу. Так як її товщина по зовнішній частині менша, ніж у центрі, то кисню легше підійти до поверхні металу саме тут. Катодна ділянка розташовується

по периметру краплі, а анодна – у центрі. Корозія заліза починається у центрі краплі. Рівняння електродних реакцій



### 11.3 Лабораторна робота «Корозія металів та засоби захисту від неї»

*Мета роботи:* дослідження умов виникнення корозійних процесів та визначення методів захисту від корозії.

*Завдання:* визначити процеси корозії металів, типи корозії, умови протікання електрохімічної корозії; запропонувати методи захисту виробів від корозії та науково обґрунтувати цей вибір.

#### Порядок виконання роботи

Дослід 1. *Дослідження електрохімічної контактної корозії.* До пробірки з 2 мл розчину сульфатної кислоти занурити одну гранулу цинку та спостерігати за його розчиненням. Через одну хвилину до гранули цинку, яка знаходиться у розчині, доторкнутися мідною проволокою. Чому розчинення цинку стало більш інтенсивним? Написати рівняння реакцій, що відбуваються.

Дослід 1.1. У дві пробірки з однаковою кількістю розбавленої сульфатної кислоти помістити по шматочку цинку. В одну з них додати 2-3 мл розчину мідного купоросу  $\text{CuSO}_4$ . У якій з пробірок починається інтенсивна реакція? Скласти рівняння реакцій, що відбуваються.

Дослід 2. *Корозія за різним доступом кисню.* На зачищену поверхню сталеві пластинки нанести краплю реактиву, що складається з  $\text{NaCl}$  і  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , а поруч краплю фенолфталеїну. Через 5-7 хвилин спостерігають синє забарвлення у центрі краплі і рожеве – по її периферії. Скласти рівняння реакцій, що виникають внаслідок різного доступу кисню до центральної частини поверхні пластинки і її периферійної частини.

Дослід 3. *Дія активаторів корозії.* У пробірки з розчинами солей купрум(II) хлорид і купрум(II) сульфат занурити проволоки з

алюмінію. Пояснити явища, які відбуваються. Визначити, який газ і чому виділяється в одній з пробірок? Написати рівняння реакцій, що відбуваються.

Дослід 4. *Застосування інгібіторів.* У три пробірки з 2-3 мл хлоридної кислоти додати гранули цинку. Коли виділення водню стане інтенсивним, долити до однієї з пробірок 1 мл розчину уротропіну, а до іншої – розчин калій дихромату, а третю пробірку залишити для порівняння. Пояснити явища, які відбуваються. Пояснити дію інгібітору корозії. Записати рівняння відповідних реакцій.

Зробити висновок про виконану лабораторну роботу.

## 11.4 Питання і задачі для самоконтролю

1. Дайте визначення корозії металів. Від чого вона залежить? У чому полягає відмінність електрохімічної корозії від хімічної.

2. Визначте катодний і анодний процеси у явищах електрохімічної корозії? Наведіть приклади.

3. Назвіть, як відрізняється корозія заліза у кислому середовищі від корозії у нейтральному середовищі? Для яких металів може представляти небезпеку лужне середовище? Чому?

4. 1. Назвіть кілька металів, які можуть служити для анодного і катодного захисного покриття

- а) заліза;
- б) кадмію;
- в) нікелю;
- г) олова.

Які продукти корозії утворюються в кислому і нейтральному середовищах?

5. Розглянути корозію мікрогальванопар Ni/Cu, Cr/Fe, Fe/Co. В якому випадку корозія відбувається швидше. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д3).

6. Які корозійні процеси відбуваються, якщо магній знаходиться у контакті з міддю у нейтральному середовищі? Напишіть рівняння відповідних реакцій та визначте вид цієї корозії. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д3).

7. Залізо вкрите оловом і знаходиться у сірчанокиислому середовищі. Яке це покриття і які хімічні реакції будуть протікати

при його порушенні? (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д3).

8. Чому, якщо до мідної пластинки, зануреної в кислоту, доторкнутися цинковою, то на міді починається бурхливе виділення водню? Дайте цьому пояснення, склавши рівняння реакцій, що відбуваються. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д3).

9. Назвіть основні методи захисту металу від корозії. Наведіть приклади.

10. Як відбувається корозія заліза у випадку порушення суцільності покриття у кислому середовищі: а) вкритого міддю; б) вкритого марганцем. Відповідь мотивуйте рівняннями відповідних реакцій. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д3).

11. В якому випадку корозія заліза буде проходити швидше: у випадку лудженого заліза або оцинкованого? Наведіть схему роботи мікрогальванопари у кислому і нейтральному середовищах. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д3).

12. Який метал доцільніше вибрати для протекторного захисту від корозії сталі (основний компонент залізо): цинк, алюміній, магній або марганець? Чому? Який склад продуктів корозії в кислому і нейтральному середовищах?

## Тема 12 ЕЛЕКТРОЛІЗ СОЛЕЙ

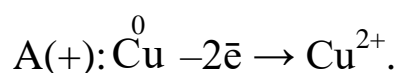
### 12.1 Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу

*Електроліз* – це сукупність окісно-відновних процесів, які протікають на електродах при проходженні постійного електричного струму через розплав або розчин електроліту. Для здійснення процесу електролізу збирають прилад, що складається з джерела постійного струму, електродів, ємкості (електролізера), що містить розчин або розплав електроліту. Як і в гальванічному елементі, електрод, на якому при електролізі відбувається відновлення, називається *катодом* (К), а електрод, на якому здійснюється процес окиснення, – *анодом* (А). Однак, на відміну від гальванічних елементів, при електролізі анод має заряд позитивний («+»), а катод – негативний («-»).

Хімічні реакції, які протікають при електролізі, залежать від властивостей розчиненого електроліту, розчинника і матеріалу електродів. Розрізняють електроліз розплавів і розчинів електролітів; з розчинним і нерозчинним анодом. При електролізі у водному розчині виявляється конкуренція між іонами солі і води за участь в електродному процесі.

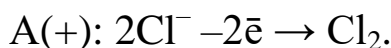
При розгляданні анодних процесів слід мати на увазі, що матеріал анода у ході електролізу може окиснюватись. У зв'язку з цим розрізняють електроліз із інертним анодом і електроліз із активним анодом. *Інертним* (нерозчинним) називається анод, матеріал якого не зазнає окиснення в ході електролізу (вугілля, графіт, платина). *Активним* (розчинним) називається анод, матеріал якого окиснюється у ході електролізу (виготовлений із металу).

На активному аноді спостерігається активне розчинення металу, з якого виготовлено електрод. Наприклад, якщо анод виготовлено з міді, то на аноді відбувається реакція



На інертному аноді послідовність залежить від вигляду аніону (кислотного залишку). Якщо кислотний залишок не містить кисень, то насамперед окиснюється він –  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$  (крім  $\text{F}^-$ ), а іон  $\text{OH}^-$

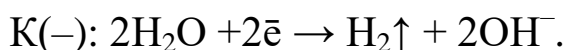
залишається у розчині. Наприклад, якщо кислотний залишок – хлорид іон  $\text{Cl}^-$ , то на аноді відбувається реакція



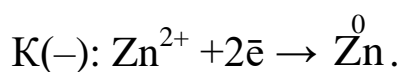
Якщо аніон кисневмісний ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), то насамперед розряджаються молекули води і анодний простір підкислюється за рахунок утворення іонів Гідрогену  $\text{H}^+$



На катоді послідовність відновлення залежить від величини потенціалу металу. А саме, якщо потенціал металу менший за стандартний потенціал алюмінію –  $E_{\text{Me}} \leq E_{\text{Al}}$  (див. додаток табл. Д4), то насамперед йде відновлення іонів Гідрогену  $\text{H}^+$



Якщо ж потенціал металу більший за стандартний потенціал алюмінію –  $E_{\text{Me}} > E_{\text{Al}}$  (див. додаток табл. Д3), то насамперед йде відновлення самого металу



Кількісно процес електролізу характеризується законами М. Фарадея. *Перший закон*: маса речовини, яка утворюється при електролізі, пропорційна кількості електрики, що проходить через систему, і хімічному еквіваленту цієї речовини

$$m = \frac{E \cdot Q}{F}, \quad (12.1)$$

де  $m$  – маса речовини, яка утворюється при електролізі, г;

$E$  – еквівалентна маса металу;

$Q$  – кількість електрики, що проходить через систему при електролізі;

$F$  – постійна Фарадея, яка дорівнює 96500 Кл/моль.

Якщо вихід по струму не 100 %, а дорівнює  $\eta$ , тоді кількість електрики, що проходить через систему при електролізі, визначають як

$$Q = I \cdot \tau,$$

а еквівалентну масу металу представляють як

$$E = \frac{A}{n}.$$

Формула (10.1) доповнюється і має вигляд

$$m = \frac{A \cdot I \cdot \tau \cdot \eta}{n \cdot 96500}, \quad (12.2)$$

де  $A$  – атомна маса металу, г/моль (див. додаток табл. Д1);

$I$  – сила струму, А;

$\tau$  – час, с;

$\eta$  – вихід за струмом, вимірюється у долях від одиниці;

$n$  – валентність металу.

*Другий закон:* при електролізі маси речовин, що виділились на електродах, прямопропорційні їх еквівалентам, тобто

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{E_1}{E_2}, \quad (12.3)$$

де  $m_1$  і  $m_2$  – маси речовин, що виділились на електродах;

$E_1$  і  $E_2$  – еквіваленти цих речовин.

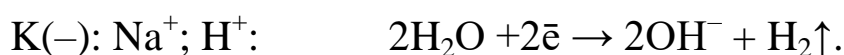
## 12.2 Приклади розв'язання завдань

*Приклад 1.* Написати рівняння реакцій катодного і анодного процесів, що відбуваються при електролізі водного розчину натрій сульфату  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  з графітовими електродами.

*Рішення:* у водному розчині натрій сульфат дисоціює за схемою



При електролізі водного розчину  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на графітових електродах відбуваються наступні процеси



*Приклад 2.* Написати рівняння реакцій катодного і анодного процесів, що відбуваються при електролізі водного розчину нікель хлориду  $\text{NiCl}_2$  з нікелевим анодом.

*Рішення:* у водному розчині нікель хлорид дисоціює за схемою



При електролізі водного розчину  $\text{NiCl}_2$ , якщо анод активний відбуваються наступні процеси



*Приклад 3.* Написати рівняння реакцій катодного і анодного процесів, що відбуваються при електролізі розплаву калій хлориду  $\text{KCl}$  з інертним анодом.

*Рішення:* у розплаві калій хлорид дисоціює за схемою



При електролізі розплаву  $\text{KCl}$ , якщо анод інертний відбуваються наступні процеси



*Приклад 4.* Визначте, які речовини і у якій кількості виділяються на катоді при електролізі водного розчину солі  $\text{ZnCl}_2$  (анод – інертний) протягом однієї години при силі струму 2 А і виході по струму 85 %?

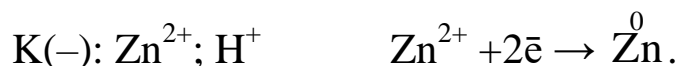
*Дано:*  
розчин  $\text{ZnCl}_2$ ;  
анод – інертний;  
 $\tau = 1$  година =  
3600 с;  
 $I = 2$  А;  
 $\eta = 85\% = 0,85$ .  
-----  
 $m = ?$

*Рішення:* у водному розчині нікель хлорид дисоціює за схемою



При електролізі водного розчину  $\text{ZnCl}_2$ , якщо анод інертний відбуваються наступні процеси





На катоді утворюється цинк, масу якого розрахуємо за формулою (12.2)

$$m = \frac{A \cdot I \cdot t \cdot \eta}{n \cdot 96500} = \frac{65 \cdot 2 \cdot 3600 \cdot 0,85}{2 \cdot 96500} = 2,1 \text{ г.}$$

$A$  – атомна маса цинку (див. додаток табл. Д1) становить 65 г/моль

*Відповідь:* при електролізі розчину солі  $\text{ZnCl}_2$  на катоді виділяється цинк масою 2,1 г.

*Приклад 5.* Чому дорівнює сила струму при електролізі розчину електроліту протягом 1 год 40 хв 25 с, якщо на катоді виділилося 1,4 л водню (н.у.)?

*Дано:*

$$\tau = 1 \text{ год } 40 \text{ хв } 25 \text{ с} =$$

$$= 6025 \text{ с;}$$

$$V(\text{H}_2) = 1,4 \text{ л.}$$

$$I - ?$$

*Рішення:* відповідно до першого закону Фарадея за формулою (12.2)

$$I = \frac{m \cdot 96500}{E \cdot \tau}.$$

Відношення  $\frac{m}{E}$  можна змінити на  $\frac{V_{\text{H}_2}}{V_{\text{EH}_2}}$ , де еквівалентний об'єм водню ( $V_{\text{EH}_2}$ ) дорівнює 11,2 л. Тоді

$$I = \frac{V_{\text{H}_2} \cdot 96500}{V_{\text{EH}_2} \cdot \tau} = \frac{1,4 \cdot 96500}{11,2 \cdot 6025} = 2 \text{ А.}$$

*Відповідь:* сила струму при електролізі розчину електроліту дорівнює 2 А.

*Приклад 6.* При електролізі розчину  $\text{AgNO}_3$  маса срібного аноду зменшилася на 5,4 м. Скільки Кл електрики витрачено на цей процес?

Дано:  
 $m = 5,4$  г.  
 $Q = ?$

Рішення: відповідно до першого закону  
Фарадея за формулою (12.2)

$$m = \frac{Q \cdot A \cdot \eta}{n \cdot 96500}$$

звідки

$$Q = \frac{m \cdot n \cdot 96500}{A \cdot \eta} = \frac{5,4 \cdot 1 \cdot 96500}{108 \cdot 1} = 4825 \text{ Кл.}$$

Відповідь: на процес електролізу розчину  
 $\text{AgNO}_3$  витрачено 4825 Кл електрики.

### 12.3 Лабораторна робота «Електроліз солей»

*Мета роботи:* дослідження особливостей електрохімічних процесів, що відбуваються при електролізі водних розчинів електролітів.

*Завдання:* записати рівняння анодного та катодного процесів при електролізі з розчинним і нерозчинним електродами; розрахувати масу речовин, які утворюються на електродах, під час електролізу.

#### Порядок виконання роботи

Дослід 1. *Електроліз розчину з нерозчинним анодом.* В U – подібну трубку з розчином  $\text{CuSO}_4$ , занурити графітові електроди та пропускати струм протягом 10 хв. Скласти рівняння реакцій, що відбуваються на електродах. Розрахувати, яка кількість міді виділиться на катоді при силі струму 2 А протягом 30 хв.

Дослід 2. *Електроліз з розчинним анодом.* Приєднати електрод з міддю, яка виділилась у попередньому досліді, до позитивного полюсу джерела струму, а інший електрод – до негативного полюсу та пропускати електричний струм. Скласти рівняння реакцій, що відбуваються на електродах.

Дослід 3. *Електроліз водного розчину натрій сульфату.* В U– подібну трубку для електролізу налити розчин натрій сульфату,

до якого добавлено розчин лакмусу. Занурити графітові електроди, увімкнути струм і спостерігати зміни забарвлення розчину у приелектродних просторах. Дати пояснення змінам забарвлення. Скласти схему електролізу водного розчину натрій сульфату.

Зробити висновок про виконану лабораторну роботу.

## 12.4 Питання і задачі для самоконтролю

1. Дайте визначення електролізу солей? Від чого він залежить?
2. Визначте, у чому полягає відмінність електродних процесів у гальванічних елементах від електродних процесів, що виникають при електролізі?
3. Назвіть та наведіть приклади, від чого залежить анодний процес?
4. Назвіть та наведіть приклади, від чого залежить катодний процес?
5. Визначте, чим відрізняється електроліз розчинів та розплавів солей? Наведіть приклади.
6. Напишіть рівняння реакцій катодного і анодного процесів, що відбуваються при електролізі з графітовими електродами водних розчинів речовин: а) кальцій нітрату; б) натрій хлориду; в) ферум(II) сульфату. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д3).
7. Напишіть рівняння реакцій катодного і анодного процесів, що відбуваються при електролізі з нікелевим анодом водного розчину нікель сульфату.
8. Струм силою 1,5 А проходить через розчин ферум(II) сульфату протягом години. Визначити масу речовини, яка виділилась на катоді. Яка це речовина? (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д1).
9. При проходженні струму 5 А через розчин електроліту за 2 години 20 хв. виділилось 12,4 г двовалентного металу. Визначити його еквівалентну масу. (При вирішенні завдання дивитись додаток табл. Д1).
10. Електроліз розчину цинк сульфату проводили протягом 5 год, в результаті чого виділилося 6 л кисню (н. у.). Обчисліть силу струму.

11. Які речовини і якій кількості виділяються на вугільних електродах при електролізі розчину NaI протягом 2,5 год, якщо сила струму дорівнює 6 А?

12. При електролізі солі деякого металу протягом 1,5 год при силі струму 1,8 А на катоді виділилося 1,75 г цього металу. Обчисліть еквівалентну масу металу.

# Розділ № 3

## ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ І НЕОРГАНІЧНІ В'ЖУЧІ РЕЧОВИНИ

### Тема 13 ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ

#### 13.1 Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу

Будь-яку речовину твердого, рідкого або газоподібного стану можна довести до ступеня більшого або меншого роздрібнювання, здрібнювання. Процес здрібнювання речовини називається диспергуванням, а ступінь здрібнювання речовини – ступенем дисперсності.

*Дисперсною системою* називається система, в якій одна складова частка розподілена у високороздробленому стані у середовищі іншої. Дисперсні системи є гетерогенними системами. Складова частка, розподілена у вигляді окремих твердих часток, крапель рідини або пухирців газу, називається *дисперсною фазою*, а середовище, в якій розподілена дисперсна фаза, називається *дисперсійним середовищем*. Існують дві класифікації дисперсних систем: за ступенем дисперсності (табл. 13.1) і за агрегатним станом (табл. 13.2).

Таблиця 13.1

#### Класифікація дисперсних систем за розміром часток дисперсної фази

Система	Діаметр часток, см	Число атомів в одній частинці
Низько дисперсні системи (Завісі: суспензії, емульсії)	$> 10^{-5}$	$> 10^9$
Високодисперсні системи (Колоїдні розчини або золі)	$10^{-7} - 10^{-5}$	$10^3 - 10^9$
Молекулярно- і іоннодисперсні системи (Істинні розчини)	$10^{-8} - 10^{-7}$	$< 10^3$

*Класифікація дисперсних систем за ступенем дисперсності*, тобто за величиною часток дисперсної фази, включає три групи: низькодисперсні, високодисперсні або колоїдно-дисперсні і молекулярно- і іоннодисперсні системи (табл. 13.1). Молекулярно-дисперсні системи називаються молекулярними розчинами. Такі системи є стійкими. Вони відносяться до гомогенних (однорідних) систем.

*Класифікація дисперсних систем за агрегатним станом* кожної з двох фаз, що утворюють систему (табл. 13.2). Приймаючи за основу три агрегатних стани дисперсійного середовища: газове (Г), рідке (Р) і тверде (Т), дисперсні системи класифікують на три типи, з підрозділом кожного типу на класи по трьох агрегатних станах дисперсійного середовища.

Таблиця 13.2

**Класифікація дисперсних систем за агрегатним станом дисперсної фази і дисперсного середовища**

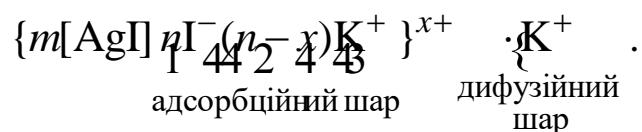
Вид золю	Система	Приклади
Аерозолі	Г <sub>1</sub> – Г <sub>2</sub>	не існує дисперсних систем
	Г <sub>1</sub> – Р <sub>2</sub>	тумани
	Г <sub>1</sub> – Т <sub>2</sub>	пил (низькодисперсна система), дим (високодисперсна система)
Ліозолі	Р <sub>1</sub> – Г <sub>2</sub>	рідкі піни
	Р <sub>1</sub> – Р <sub>2</sub>	емульсії
	Р <sub>1</sub> – Т <sub>2</sub>	суспензії (низькодисперсні системи), золі (високодисперсні системи)
Літозолі	Т <sub>1</sub> – Г <sub>2</sub>	тверді піни (пемза, шлак, туф, хліб, пінопласт)
	Т <sub>1</sub> – Р <sub>2</sub>	натуральні перли (CaCO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O)
	Т <sub>1</sub> – Т <sub>2</sub>	бетон, емалі, металокераміка, сплави, кольорове скло

Індекси: 1 – дисперсійне середовище, 2 – дисперсна фаза.

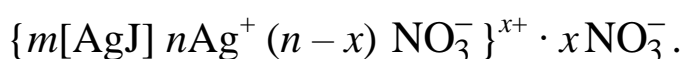
*Золі.* Вагоме значення для життя людини мають колоїдні розчини (золі). Їх складовими одиницями є міцели. При утворенні золю AgJ за реакцією подвійного обміну



можливе два варіанти міцел залежно від того, який електроліт було взято в надлишку. В першу чергу розглянемо випадок, коли у надлишку взяти КJ. Молекули малорозчинної речовини AgJ поєднуються разом, з утворенням агрегатів молекул  $m[AgJ]$ . Завдяки великому розміру цих часток на поверхні розділу утворюються умови, необхідні для явлення адсорбції. Особливо енергійно з розчину адсорбуються іони, які входять до складу малорозчинної речовини, які здатні добувати кристал AgJ, а саме J<sup>-</sup>, як надлишок. Утворюється ядро  $m[AgJ]nJ^-$ . Іони J<sup>-</sup> називаються потенціалвизначаючими. Негативно заряджене ядро притягує з розчину протилежні іони (K<sup>+</sup>). Ядро разом з частиною прочно пов'язаних з ними протилежних іонів називається колоїдною часткою або гранулою  $\{m[AgJ]nJ^-(n-x)K^+\}^{x-}$ . Вона має заряд, у даному випадку негативний, так як тепловий рух молекул заважає компенсації іонів J<sup>-</sup> іонами K<sup>+</sup>. Поява таких зарядів перешкоджає об'єднанню часток у більш великі агрегати, які можуть випадати в осад. Це визначає стійкість золю. Повністю міцела має такий формулу



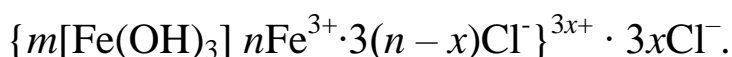
Якщо у надлишку буде електроліт AgNO<sub>3</sub>, то міцела AgJ матиме вигляд



Розглянемо випадок, коли потенціалвизначаючий іон багатозарядний. Наприклад, при утворенні міцели Fe(OH)<sub>3</sub> за реакцією



формула міцели Fe(OH)<sub>3</sub> наступна



Так як колоїдні частинки мають заряд, вони можуть переноситися у електричному полі. Це явище носить назву електрофорез. Колоїдна частка переноситься до протилежно

зарядженого електроду тільки з часткою протилежних іонів, які відриваються від інших на межі колоїдної частинки.

Для розглянутих колоїдних частинок буде здійснюватися перенесення до аноду (+) у першому випадку, до катоду (-) – у другому і третьому випадках.

*Методи одержання дисперсних систем.* Для одержання і тривалого існування золів потрібні наступні умови:

1) наявність двох взаємно нерозчинних компонентів, як умова утворення двох складових систем: дисперсної фази і дисперсійного середовища;

2) доведення речовини дисперсної фази до колоїдного ступеня дисперсності ( $10^{-7}$ – $10^{-5}$  см);

3) невисока концентрація дисперсної фази;

4) наявність стабілізатора, що сприяє стійкості золю.

У залежності від того, якими шляхами досягається колоїдний ступінь дисперсності, методи одержання колоїдних систем підрозділяються на дві групи:

1) методи диспергування (роздрібнення), засновані на роздрібненні більш-менш великих утворень до часток колоїдного розміру;

2) методи конденсації (агрегації), якщо колоїдний ступінь дисперсності досягається шляхом поєднання атомів, іонів і молекул у більш великі частки колоїдних розмірів.

*Диспергування* включає три групи методів. Метод механічного диспергування полягає в енергійному роздрібненні речовини дисперсної фази й у змішуванні її з рідиною, що служить дисперсійним середовищем, а також у додаванні стабілізатора.

Метод електричного диспергування заснований на утворенні електричної дуги від джерела постійного струму між електродами, виготовленими у виді дротиків з диспергуємого металу і поміщеними під водою. Це призводить до розпилення металу й у воді утвориться золь цього металу.

Метод ультразвуку полягає в дробленні речовини, що знаходиться в дисперсійному середовищі, під дією високочастотних ультразвукових хвиль, що мають частоту коливань більш 20 тис./с.

*Конденсаційні методи одержання дисперсних систем* в порівнянні з диспергуванням більш різноманітні і найбільш уживані

на практиці. Конденсаційні методи можна поділити на дві групи: методи фізичної конденсації і методи хімічної конденсації.

Методи фізичної конденсації включають утворення колоїдних розчинів шляхом різкої конденсації пари або шляхом різкого зменшення розчинності. Найпростіший приклад утворення колоїдних систем – конденсація пари, наприклад, утворення атмосферного туману при конденсації вологи повітря в результаті його охолодження.

Щоб одержати колоїдний розчин з якого-небудь молекулярного розчину, повинні бути створені такі умови, при яких розчинність речовини різко знизиться. Найпростіший спосіб – заміна розчинника, тобто додавання іншої рідини, що є для цієї речовини поганим розчинником і разом з тим добре змішується з вихідним розчинником.

Методи хімічної конденсації включають процеси, у яких колоїдні розчини виходять у результаті тієї або іншої хімічної реакції. За типом реакції, що протікає, розрізняють методи: подвійного обміну, гідролізу, відновлення, окиснення та ін. Стабілізатором звичайно є одна з речовин, що вступають у реакцію.

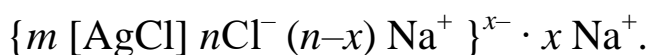
Реакції подвійного обміну дають золі різної стійкості в залежності від концентрації присутніх електролітів. Тому стійкість золю, отриманого шляхом реакції подвійного обміну, у значній мірі залежить від природи другого продукту реакції. Якщо підібрати реакцію так, щоб другий продукт не був електролітом або був слабким електролітом, то створюються сприятливі умови для виникнення золю.

Гідроліз найчастіше використовують для одержання золів гідроксидів металів. Кращі умови гідролізу – невисока концентрація солі і нагрівання розчину.

Окиснення та відновлення є найважливішим хімічними методами для одержання простих тіл у стані колоїдного розчину. Шляхом відновлення одержують золі Ag, Pt, Hg, Cu, Se, Te. Окиснення застосовується для одержання золів сірки і селену.

## 13.2 Приклади розв'язання завдань

*Приклад 1.* До водного розчину хлориду натрію повільно приливають водний розчин аргентум нітрату. Утворюється колоїдний розчин хлориду срібла, що має міцелу



Визначте які іони адсорбуються біля агрегату? Який заряд ядра і шару потенціалвизначаючих іонів? Які іони входять до складу адсорбційного шару, що є протилежними іонами? Вкажіть заряд колоїдної частки (гранули). Які іони входять до складу дифузійного шару? Визначте заряд міцели.

*Рішення:* а) агрегатом є малорозчинна речовина. AgCl, на якому адсорбуються іони Cl<sup>-</sup> що входять до складу кристалічної решітки AgCl і знаходяться у надлишку;

б) заряд негативний, чисельно він дорівнює n<sup>-</sup>;

в) до складу адсорбційного шару входять іони Cl<sup>-</sup> і Na<sup>+</sup>. З них Na<sup>+</sup> – протилежні іони;

г) заряд колоїдної частинки негативний, і чисельно він дорівнює n<sup>-</sup> + (n - x) = x<sup>-</sup>;

д) до складу дифузійного шару входять протилежні іони Na<sup>+</sup>. Вони перебувають за межею колоїдної частинки;

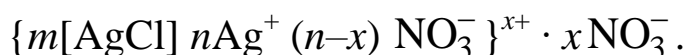
е) міцела є електронейтральним утворенням, вона не має заряду, так як заряд колоїдної частинки повністю компенсується зарядом дифузійного шару.

*Приклад 2.* Напишіть формулу міцели золю AgCl, що утворюється за реакцією



Які іони є потенціалвизначаючими, а які – протилежними іонами? Вкажіть адсорбційний шар, дифузійний шар і межу колоїдної частинки. Які іони (потенціалвизначаючі або протилежні іони) входять до складу дифузійного шару? Чому дорівнює заряд ядра і заряд гранули?

*Рішення:* а) так як у надлишку знаходиться електроліт AgNO<sub>3</sub>, то формула міцели буде наступною

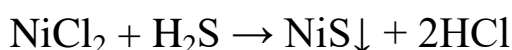




золю розчину  $KNO_3$  збільшується концентрація протилежних іонів  $NO_3^-$ , починається процес входження їх до адсорбційного шару, що зменшує заряд колоїдної частинки, послаблює стійкість золю і призводить до його коагуляції.

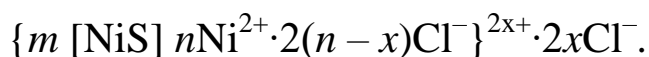
*Приклад 4.* До водного розчину  $NiCl_2$  повільно доливають водний розчин  $H_2S$ . Вкажіть заряд колоїдної частинки і напишіть формулу міцели золю.

*Рішення:* Так як в надлишку є розчин  $NiCl_2$ , то за результатами протікання реакції



утворюється золь  $NiS$ , у міцелах якого потенціал визначаючими іонами є  $Ni^{2+}$ , а протилежними іонами –  $Cl^-$ .

Формула міцели



Заряд колоїдної частинки  $2x+$ .

### **13.3 Лабораторна робота «Одержання дисперсних систем та дослідження їх властивостей»**

*Мета роботи:* одержання дисперсних систем та дослідження їх властивостей.

*Завдання:* записати рівняння реакції утворення золю; скласти схему будови міцели (оберненої міцели), їх шарів; розширити теоретичні уявлення про властивості дисперсних систем.

#### **Порядок виконання роботи**

Дослід 1. *Реакція гідролізу. Золь гідроксиду Феруму (III).* До 100 мл киплячої дистильованої води додати кілька крапель насиченого розчину  $FeCl_3$ . При цьому енергійно відбувається гідроліз іонів тривалентного заліза і утворюються молекули гідроксиду Феруму (III), що конденсуються у колоїдні частинки. Виникає золь  $Fe(OH)_3$  вишнево-червоного кольору. Знак заряду колоїдних

частинок визначають методом капілярного аналізу. Для золю записати будову міцели.

Дослід 2. *Реакція обміну. Золь гексаціаноферату Купруму(II).* Приблизно 10-12 крапель 20 %-ного розчину  $K_4[Fe(CN)_6]$  розбавити до 100 мл дистильованою водою і додати 3-5 крапель розчину  $CuSO_4$  при збовтуванні. Утворюється червоно-бурий золь  $Cu_2[Fe(CN)_6]$ . Для золю записати будову міцели.

Дослід 3. *Золь берлінської лазурі.* 10-12 крапель 20 %-ного розчину  $K_4[Fe(CN)_6]$  розбавити водою до 100 мл. До розбавленого розчину додати при збовтуванні краплю насиченого розчину  $FeCl_3$ . Утворюється синій прозорий золь берлінської лазурі. Знак заряду колоїдних частинок визначають методом капілярного аналізу. Для золю записати будову міцели.

Дослід 4. *Золь йодистого срібла.* 3 мл 0,1 М розчину  $KI$  розбавити дистильованою водою до 10 мл. 5 мл 0,2 М розчину  $AgNO_3$  в іншій колбі розбавити до 40 мл. Повільно по краплям додати до розчину  $AgNO_3$  і спостерігати утворення золю аргентум йодиду. Для золю записати будову міцели.

Дослід 5. *Золь манган діоксиду.* До 50 мл 0,15 % розчину  $KMnO_4$  по краплям додати 1,5-2 мл 1 % розчин  $Na_2S_2O_3$ . Спостерігати зміну забарвлення розчину. Для золю записати будову міцели.

Дослід 6. *Заміна розчинника. Приготування золю каніфолі та сірки.* Спиртовий 5 % розчин каніфолі (сірки) повільно, краплями, влити у воду, доки не з'явиться блакитна імла золю (опалесценція). При цьому звернути увагу на забарвлення у світлі, що проходить і відбивається. Для золю записати будову міцели.

Дослід 7. *Визначення знака заряду колоїдних частинок методом капілярного аналізу.* Для кожного з одержаних золів необхідно визначити знак заряду колоїдних частинок. Для цього використовують метод капілярного аналізу, в основі якого лежить залежність адсорбції золю від знака заряду поверхні адсорбенту. В якості адсорбенту використати фільтрувальний папір. При зануренні у воду целюлозні стінки капілярів паперу заряджаються негативно, вода підіймається по капілярам паперу. Якщо у воді знаходяться заряджені частинки, їх переміщення угору разом з водою можливо, якщо вони не притягуються до стінок капілярів, тобто заряджені негативно. Якщо частинки заряджені позитивно, вони не переміщуються разом з водою, тому що адсорбуються на стінках

капілярів. Таким чином, за рівнем підняття частинок золів порівняно з водою можна визначити знак заряду частинок.

Піпеткою нанести краплю золю на фільтрувальний папір і спостерігати за її поведінкою. Якщо забарвлена пляма перемішується разом з водою, колоїдні частинки мають негативний заряд. Якщо пляма залишається на місці, а розпливається тільки вода, колоїдні частинки заряджені позитивно.

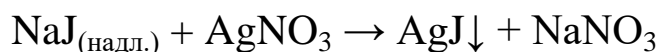
Дослід 8. *Одержання емульсії толуолу у воді.* У дві пробірки місткістю 10-15 мл налити 1/3 об'єму води, додати по 2 мл толуолу, забарвлених барвником судан III (він не розчиняється у воді). В одну з пробірок додати 2 мл 2 %-ного водного розчину олеату натрію, а в іншу – таку ж кількість води. Пробірки закрити пробками й енергійно збовтати, до одержання однорідної емульсії. Після цього залишити на деякий час у штативі. Слідкувати за швидкістю розшарування. Встановити тип емульсії – масло у воді (м/в) або вода в маслі (в/м). Краплю забарвленої емульсії накапати на предметне скло мікроскопа і визначити, що є забарвленим: крапельки емульсії чи довколишня рідина.

Дослід 9. *Обернення емульсії.* До 2-3мл емульсії з додатком емульгатора (олеату\_натрію) додають краплями 0,01 М розчин CaCl<sub>2</sub> або MgCl<sub>2</sub>, збовтати і знову визначити тип емульсії. Розглянути краплю емульсії під мікроскопом.

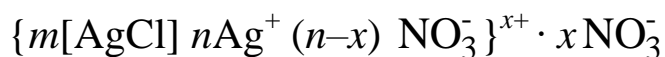
Зробити висновок про виконану лабораторну роботу.

### 13.4 Питання і задачі для самоконтролю

1. Назвіть дві основні ознаки дисперсного стану речовини.
2. Що називається дисперсною фазою і дисперсійним середовищем?
3. Які способи класифікації дисперсних систем вам відомі?
4. Назвіть способи одержання дисперсних систем?
5. Які основні типи хімічних реакцій застосовують при конденсаційному одержанні золів.
6. Зобразіть будову міцели золю, який був отриманий реакцією обміну



7. Відповідно до формули міцели



визначте

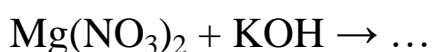
а) Які іони є потенціалвизначаючими, а які – протилежними іонами?

б) Чому дорівнює заряд ядра і заряд гранули?

в) Які іони входять до складу адсорбційного шару, який визначає протилежні іони?

г) Які іони входять до складу дифузійного шару?

8. До водного розчину першого електроліту повільно доливають розчин іншого електроліту. Складіть схему будови міцели



Дайте відповідь на питання: які іони адсорбуються навколо агрегату? Які іони входять до складу адсорбційного і дифузійного шару? Чому дорівнює заряд ядра і колоїдної частинки? До якого електроду будуть рухатись колоїдні частинки при електрофорезі? Вкажіть адсорбційний, дифузійний шар і межу колоїдної частинки. Які іони, що додані у розчин, можуть викликати коагуляцію золю? Напишіть формулу міцели золю, що утворюється при надлишку другого електроліту.

9. На поверхні ядра при утворенні міцели  $\text{AgCl}$  адсорбуються іони  $\text{Cl}^-$ . Складіть рівняння реакції, схему і формулу міцели. Який електроліт був взятий у надлишку, якщо один з них був  $\text{AgNO}_3$ ?

10. Складіть схеми утворення міцел і їх формули, якщо взято розчини  $\text{MgCl}_2$  і  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . У якому випадку колоїдні частинки будуть позитивними, а в якому негативними?

## Тема 14 НЕОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ

### 14.1 Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу

*В'язучі речовини* – це будівельні матеріали для виготовлення розчинів і бетонів. Усе в'язучі речовини за складом діляться на 2 групи: неорганічні та органічні.

Головні *органічні в'язучі речовини* – бітуми та смоли. Їх ознаки – гідрофобність;

– перехід в пластично-в'язку масу при нагріванні або змішуванні з органічними розчинниками.

*Неорганічні в'язучі речовини* – це порошкоподібні матеріали, які утворюють при змішуванні з водою пластично-в'язку масу, яка з часом затвердіє у міцне тверде тіло. Для неорганічних в'язучих речовин характерні наступні ознаки

– гідрофільність;

– здатність утворювати з водою тістоподібну масу;

– здатність переходити у твердий стан без дії зовні. Іноді для прискорення твердіння цементні вироби підлягають тепловологій обробці.

Без наповнювачів в'язучі речовини застосовуються рідко внаслідок усадки, набухання та утворення щілин, які спостерігаються при твердінні. В'язучі речовини застосовуються в суміші з мілкими заповнювачем (піском) и називаються розчинами. Суміш з мілким та крупним заповнювачем (щебенем, гравієм) є *бетон*.

По умовам твердіння та водостійкості продуктів неорганічні в'язучі речовини діляться на *повітряні* і *гідралічні*. До повітряних в'язучих речовин відносять повітряне вапно, гіпсові в'язучі. Повітряні в'язучі речовини після змішування з водою твердіють на повітрі і продукти твердіння нестійкі по відношенню до води.

До гідралічних в'язучих речовин відносяться портландцемент, глиноземистий цемент, гідралічне вапно. Гідралічні в'язучі речовини після первинного схоплювання на повітрі надалі можуть твердіти і під водою. Продукти твердіння зберігають міцність у воді.

Основні повітряні в'язучі речовини: гіпсові в'язучі і будівельне вапно.

*Гіпсові в'язучі речовини* отримують тепловою обробкою двоводного гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  та помолом обпаленого продукту.

Вони складаються з напівводного гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  та ангідриту  $\text{CaSO}_4$ .

Залежно від температури обробки гіпсові в'язучі поділяють на види

– низьковипалені гіпсові. Температура випалу 110-180 °С. Головний компонент  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ;

– високовипалені (ангідритові). Температура випалу 600-900 °С. Головний компонент  $\text{CaSO}_4$ .

Сировина для здобуття гіпсових в'язучих – природний гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  і природний ангідрит  $\text{CaSO}_4$ .

В загальному виді дегідратація  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  має вигляд



За  $t = 800-1000$  °С  $\text{CaSO}_4$  частково розкладається на  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_2$  і  $\text{O}_2$



Мала кількість  $\text{CaO}$  (2-3 %) надає каталітичну дію на схоплення та твердіння  $\text{CaSO}_4$ . Цей продукт називається естрих-гіпсом.

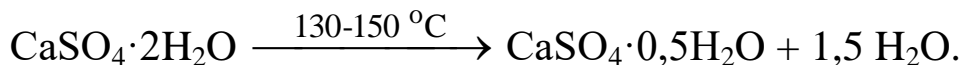
На практиці отримують 3 види гіпсових в'язучих речовин

– будівельний гіпс;

– ангідритове в'язуче;

– високообпалений гіпс (естрих-гіпс).

*Будівельний гіпс* – це речовина, що складається з напівводного гіпсу і отримана випаленням природного гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  у відкритих ємностях з подрібненням продукту в тонкий порошок



Температура випалення природного гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  130-150 °С. Оптимальна витримка при 140-150 °С протягом 3-4 годин сприяє зменшенню водопотреби продукту і збільшенню його міцності.

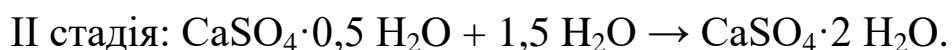
*Ангідритове в'язуче* отримують випаленням при температурах 600-700 °С. Головний компонент – нерозчинний ангідрит  $\text{CaSO}_4$ , який в суміші з водою повільно схоплюється і майже не твердіє. Для активізації його твердіння застосовують добавки сульфатів  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ .

*Естріх-гіпс* отримують випаленням при 900-1100 °С. Основні компоненти: нерозчинний CaSO<sub>4</sub> і CaO. Вміст CaO збільшується із зростанням температури.

*Схоплювання і твердіння гіпсу* обумовлене переходом отриманих продуктів при взаємодії з водою в гідрати по реакції гідратації. Реакція гідратації для будівельного гіпсу має вигляд



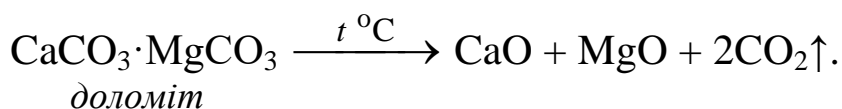
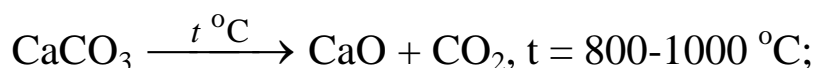
Для ангідритового в'язучого



Стадія III – перекристалізація. Частки CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O зростають і переплітаються. Це обумовлює подальше твердіння і підвищення міцності системи.

*Будівельне вапно* – продукт, що отримується з Ca-Mg-карбонатних порід випаленням до можливо повного видалення CO<sub>2</sub> і що складається з CaO. Випалення до спікання не доводять. Спікання – часткове плавлення компонентів матеріалу, при якому частки зчіплюються між собою. Розрізняють негашене вапно CaO і гашене вапно Ca(OH)<sub>2</sub>.

Отримання вапна засновано на реакціях:

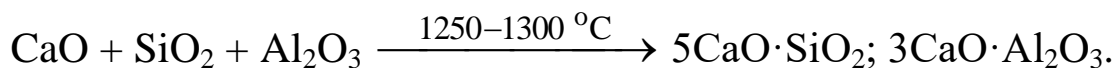
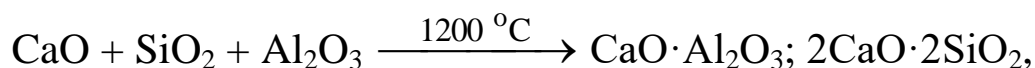


*Склад негашеного вапна* CaO, MgO, CaCO<sub>3</sub>, що не розклався, силікати, алюмінати, ферити Ca і Mg.

При випаленні карбонатних порід, що містять глини, зазнають зміни не лише карбонати, але і гідросилікати. Основна частина глини – мінерал каолініт Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O при випаленні зазнає перетворення



У печі між розпушеними продуктами можуть йти реакції в твердому стані



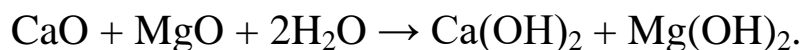
Отримання в'язучих матеріалів на основі вапна має наступні стадії. Обпалене негашене вапно виходить з печі у вигляді грудок. Отримання в'язучих матеріалів досягається помелом або диспергуванням при гасінні водою. Вибір методу подрібнення залежить від складу негашеного вапна, яке може бути двох видів:

– *повітряне вапно* складається з 90-95 % CaO і MgO і  $\leq 10$  % силікатів і алюмінатів Ca;

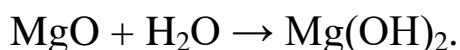
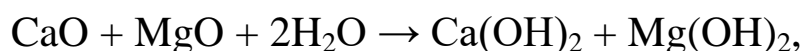
– *гідравлічне вапно* містить 70-80 % силікатів і алюмінатів кальцію, останнє – CaO, MgO.

Самі назви говорять про те, що повітряне вапно відноситься до повітряних в'язучих, а гідравлічне – до гідравлічних. Гідравлічне вапно диспергують помелом, тому що гаситися водою гідравлічне вапно може лише частково. Гідравлічне вапно здатне твердіти на повітрі і у воді. Гідравлічні властивості пояснюються присутністю силікатів і алюмінатів кальцію. Чим їх більше, тим більше гідравлічні властивості, тим швидше твердіє вапно і вище його міцність.

*Гідратне гашене вапно* – високодисперсний порошок, що отримується гасінням негашеного вапна (повітряного) пароподібною або рідкою водою

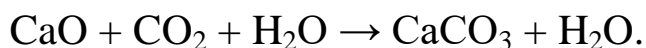


Гасіння вапна йде найшвидше при використанні чистого вапна, в якому більше вміст CaO. Наявність перепалу, значної кількості MgO (мінерал *периклаз*) і глинистих домішок уповільнює швидкість гасіння. Розглянемо небажаний вплив MgO. Перикла MgO має крупні кристали, які повільно реагують з водою. Утворення Mg(OH)<sub>2</sub> може завершуватися вже в отверділих виробах



Виникає внутрішня напруга і щілини.

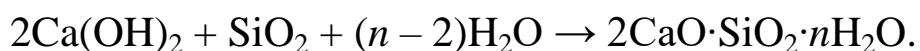
*Твердіння вапна* негашеного і гідралічного на повітрі протікає по реакції



Гашене вапно твердіє по реакції



У обох випадках виділяється вода, тому вапняна штукатурка довго сохне. При виготовленні силікатної цеглини реакція твердіння полягає в утворенні силікату кальцію



Подібна реакція йде дуже повільно при звичайній температурі, але прискорюється при випаленні. При цьому утворюються гідросилікати кальцію. Висока міцність вапняно-піщаних розчинів пояснюється утворенням в них протягом десятиліть гідросилікатів кальцію.

Основними гідралічними в'язучими є гідралічне вапно, портландцемент, глиноземистий і високоглиноземистий цементи.

*Портландцемент* – це гідралічна в'язуча речовина, що отримується випаленням до спікання подрібненої суміші вапняку і глини, утворюючими клінкер і подальшим тонким подрібненням клінкеру з гіпсом або іншими спеціальними добавками.

*Спікання* – це часткове плавлення компонентів, при якому частки зчіплюються між собою.

Розрізняють

- портландцемент без добавок (з гіпсом);
- портландцемент з мінеральними добавками;
- шлакопортландцемент.

Гіпс у кількості  $\approx 5\%$  додають для уповільнення схоплювання. Клінкерний порошок без гіпсу при змішуванні з водою швидко схоплюється і твердіє в цементний камінь з низькими механічними властивостями.

Шлакопортландцемент отримують при введенні в клінкер доменних або інших шлаків до 20 % від маси в'язучого.

Сировинними матеріалами для виробництва портландцементного клінкеру є

карбонати  
3  
природні породи і мінерали  
крейда, вапно (50 %  $\text{CaCO}_3$ )

алюмосилікати  
1  
глини  
каолініт  
 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
(70 %  $\text{SiO}_2$  і 5-20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

*Основні операції виробництва портландцементу*

– підготовка сировинних матеріалів і приготування з них однорідної суміші;

– випалення до спікання;

– помел клінкеру в порошок з добавкою гіпсу та ін.

Основна операція – здобуття клінкеру із заданим фазовим складом, що визначається складом і якістю сировини, режимом випалення.

У хімії цементу прийнята *номенклатура Тейлора* для скорочення написання мінералів цементного клінкеру. Основні мінерали цементного клінкеру можна записати наступним чином

Хімічна формула	Формула по Тейлору
$\text{CaO}$	C
$\text{Al}_2\text{O}_3$	A
$\text{SiO}_2$	S
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	F
$\text{H}_2\text{O}$	H

Із вихідних компонентів ( $\text{CaCO}_3$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) утворюються мінерали цементного клінкера (табл. 14.1).

Таблиця 14.1

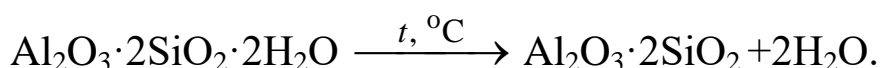
**Основні мінерали цементного клінкера, їх позначення і вміст у клінкері**

Назва мінералу	Формула	Умовне позначення	Вміст у клінкері, %
Трьохкальцієвий силікат (аліт)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	45-60
двохкальцієвий силікат (беліт)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	20-30
Чотирикальцієвий алюмоферит (целіт)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	10-20
Трьохкальцієвий алюмінат	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	3-12

Випалення сировинної суміші проводиться в шахтних або в сучасних печах, що обертаються. Піч умовно ділиться на 6 зон.

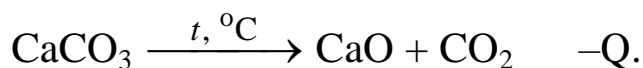
*Зона I – зона сушки:*  $t = 300-600$  °С. Відбувається сушка, загустіння і грудкування сировинної суміші. При  $t = 400-500$  °С в матеріалі вигоряють органічні домішки і починається дегідратація каолініту.

*Зона II – зона підігрівання:*  $t = 500-800$  °С. Відбувається інтенсивна дегідратація каолініту з утворенням каолінітового ангідриду  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$



I і II зони складають до 55 % довжини печі.

*Зона III – зона кальцинації:*  $t = 850-1200$  °С. Ця зона складає 25-30 % довжини печі. У ній відбувається ендотермічне розкладання  $\text{CaCO}_3$



і починаються реакції в твердому стані між  $\text{CaO}$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ . При температурі 800-900 °С можливо утворення таких продуктів, як  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\text{C}_2\text{S}$ );  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\text{CS}$ );  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{CA}$ );  $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_2\text{F}$ ).

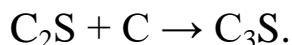
*Зона IV – екзотермічна зона:*  $t = 1200-1300$  °С. Реакції утворення силікатів, алюмінатів і феритів  $\text{Ca}$  є екзотермічними і супроводжуються значним виділенням тепла, що приводить до інтенсивного підвищення температури на 150-200 °С на короткій ділянці печі, яка отримала назву екзотермічної зони. У цій зоні різко зростає швидкість утворення  $\text{C}_2\text{S}$ , а також перехід  $\text{CA}$  в  $\text{C}_5\text{A}_3$  та  $\text{C}_3\text{A}$



У цій зоні ще зберігається значна кількість вільної  $\text{CaO}$ . Якби операція випалення закінчувалася в IV зоні, то було б отримано в'язучу речовину типу гідравлічного вапна. Але для приготування цементу потрібно повністю зв'язати вільне вапно у високоосновні силікати і алюмінати кальцію. Це досягається в V зоні. До кінця IV

зони температура досягає 1300 °С. Матеріал переважно складається з  $C_2S$ ,  $C_4AF$  і  $C_2F$ .

*Зона V – зона спікання:*  $t = 1300-1450$  °С. У рідкій фазі створюються умови для утворення основного матеріалу портландцементного клінкеру – трьохкальцієвого силікату  $C_3S$



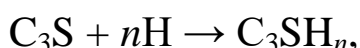
Трьохкальцієвий силікат виділяється з розплаву разом з невеликими кількостями  $MgO$  і  $Al_2O_3$ . Утворюється твердий розчин, названий алітом.

*Зона VI – зона охолодження.* Після зони спікання матеріал переходить в зону охолодження. До температури 1300 °С в ній ще присутня рідка фаза і продовжується реакція засвоєння  $CaO$  і утворення  $C_3S$ . Потім рідка фаза твердіє у вигляді скла і частково йде кристалізація з розплаву  $C_3A$ ,  $C_4AF$  і  $MgO$  у вигляді периклазу. Остаточо суміш охолоджується в холодильнику.

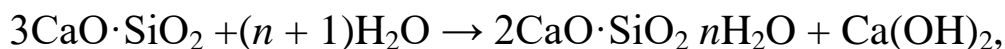
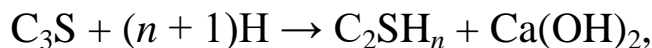
*Зниження енергоємності випалення цементного клінкеру* здійснюється шляхом введення добавок:  $CaF_2$ ,  $Na_2SiF_6$ ,  $MgSiF_6$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaSO_4$  і їх сумішей. Проте ці добавки знижують температуру не більше ніж на 50-100 °С. Більш ефективний  $CaCl_2$ , що знижує температуру на 150-200 °С.

*Взаємодія цементного клінкеру з водою* (водозачиннення цементу). При взаємодії цементного клінкеру з водою його компоненти утворюють практично нерозчинні у воді сполуки, інакше отверділі бетони не були б водостійкими. Сполуки гідратів утворюються в результаті часткового гідролізу і гідратації солей клінкеру, утворених сильною основою  $Ca(OH)_2$  і слабкими кислотами  $H_2CO_3$ ,  $H_2SiO_3$ .

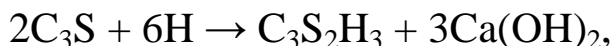
*Взаємодія з водою аліта  $C_3S$*  приводить до утворення гіросилікатів  $Ca$  різного складу залежно від температури середовища і концентрації гідроксиду кальцію в рідкій фазі. Протікають процеси гідратації і гідролізу



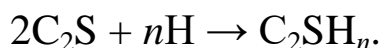
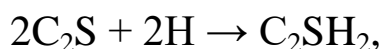
Основні реакції взаємодії з водою аліта є сумісними реакціями гідролізу і гідратації



або

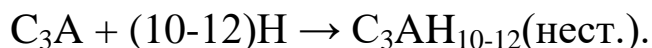


*Взаємодія з водою беліта  $C_2S$  є процесом гідратації*

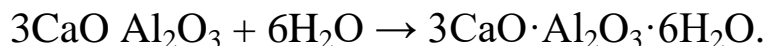


Підвищення температури суміші до 30-50 °С і наявність в рідкій фазі лугів, які зменшують концентрацію  $Ca(OH)_2$ , сприяє утворенню  $C_3S_2H_5$  і  $C_5S_6H_5$ . При тепловолігій обробці гідратація сілікатов приводить до утворення суміші  $Ca(OH)_2$ ,  $C_2SH_2$ ,  $C_2SH$  і  $C_3SH_{1,5}$ . Утворення низькооснових гідросілікатів  $Ca$  сприяє міцності цементного каміння. Цьому ж сприяють добавки  $CaCl_2$ .

*Взаємодія з водою  $C_3A$  є процесом гідратації. При великій кількості води затворення утворюється сильно оводнений  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10-12 H_2O$*



При затворенні цементу водою в кількостях, зазвичай прийнятих в технології бетону, утворюється гідрат  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ . Усі інші гідроалюмінати поступово переходять у шестиводний алюмінат. Тому загальноприйнято наступне рівняння



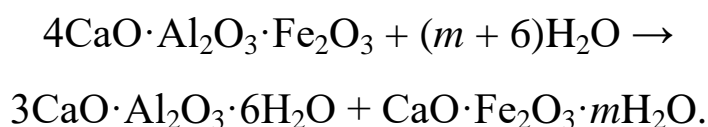
По-іншому протікає процес в присутності гіпсу. Гіпс взаємодіє з гідроалюмінатами, які знаходяться у розчині та утворюють малорозчинний гідросульфюалюмінат кальція – мінерал еtringит



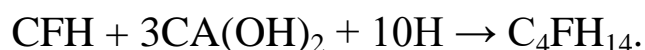


У цьому випадку уповільнюється схоплювання бетону. Протягом деякого періоду відбувається зв'язування гідроалюміната кальцію. Тільки після того, як витрачено весь гіпс (1-3 години), починає виділятися чистий гідроалюмінат кальція і цемент тужавіє.

*Взаємодія з водою целіта* є складним процесом гідролізу і гідратації.  $\text{C}_4\text{AF}$  при взаємодії з водою гідролітично розщеплюється



Утворюється шестиводний трьохкальцієвий алюмінат та гідроферит кальцію. Гідроферит Ca взаємодіє з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  та утворює більш основний гідроферит  $3(4)\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$



Гідроферити кальцію, подібно гідроалюмінатам, утворюють комплексну сполуку з гіпсом – гідросульфферит  $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot (30-32)\text{H}_2\text{O}$ .

*Глиноземистий цемент* – це швидкотвердіюче гідралічне в'язуче, яке складається з низькоосновних алюмінатів кальцію, тому іноді його називають алюмінатним цементом. Глиноземистий цемент отримують спіканням бідних бокситів ( $\approx 50\% \text{Al}_2\text{O}_3$ ) та вапняку з наступним подрібненням шлаків, що містять алюмінат кальцію. Боксити з вмістом  $\text{Al}_2\text{O}_3 > 50\%$  йдуть на отримання чистого алюмінію.

У результаті спікання глиноземистий цемент містить мінерали  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  (CA),  $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (CF),  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$  (CA<sub>2</sub>),  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$  (C<sub>5</sub>A<sub>3</sub>). Мінерал  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  (C<sub>2</sub>AS) – геленит є небажаною добавкою, так як не може гідралічно твердіти.

*Високоглиноземистий цемент* отримують обпалом вапняку та алюміній оксиду з наступним подрібненням. Основні мінерали високоглиноземистого цементу C<sub>2</sub>A і CA. Обидва цементи є вогнетривними, мають підвищену щільність та корозійну стійкість.

Твердіння основного мінералу алюмінатних цементів CA здійснюється по реакції



Реакція утворення восьмиводного двохкальцієвого гідроалюмінату протікає швидко. Вже через добу глиноземистий цемент показує високий опір, що складає приблизно 99 % від норми. Портландцемент вже через сутки має в 3-5 раз меншу міцність.

Пористість глиноземистого цементного каміння приблизно в 2 рази менше, ніж портландцементного. Структура отверділого глиноземистого цементу своєрідна – проміжки між кристалами  $C_2AH_8$  заповнені гідроксидом алюмінію, який як би охоплює їх. Цим пояснюється підвищена стійкість глиноземистих цементів у воді, що містить  $MgSO_4$ ,  $CaSO_4$ , сахарозу (магнезіальна та сульфатна корозія не протікають).

Але глиноземистий цемент руйнується навіть слабкими розчинами лугів, внаслідок амфотерної природи гідроксиду алюмінію з утворенням алюмінатів. Тому його не можна змішувати з портландцементом, вапняком та неможна використовувати в лужних середовищах.

## 14.2 Лабораторна робота

### «Визначення вмісту кальцій і магній оксидів у вапні»

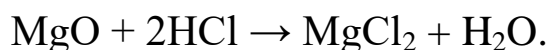
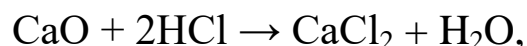
*Мета роботи:* кількісне визначення основних компонентів вапна.

*Завдання:* визначити головні оксиди і негашені компоненти вапна, оптимальні температурні умови і кінетичні характеристики гасіння вапна.

#### Порядок виконання роботи

Дослід 1. *Визначення сумарного складу активних кальцій і магній оксидів у вапні.* Наважку вапна масою 1,0 г помістити у конічну колбу місткістю 250 мл, налити 150 мл дистильованої води, додати 3-5 скляних кульок, закрити скляною лійкою або годинниковим склом і нагріти до температури кипіння. Розчин охолодити до температури 20-30 °С, промити стінки колби і скляну лійку (годинне скло) кип'яченою дистильованою водою, додати 2-3 краплі 1 % спиртового розчину фенолфталеїну і титрувати при постійному збовтуванні 1 н розчином хлоридної кислоти до повного знебарвлення розчину. Титрування вважають закінченим, якщо

протягом 8 хв. при періодичному збовтуванні розчин залишається безбарвним. Титрування проводять повільно, додаючи кислоту з бюретки по краплях. При цьому відбуваються наступні реакції



Склад активних оксидів кальцію і магнію ( $A$ ) у відсотках для негашеного вапна обчислити за формулою

$$A = \frac{V \cdot N \cdot 0,028 \cdot 100}{m},$$

де  $V$  – об'єм розчину хлоридної кислоти, витраченого на титрування, мл;

$N$  – нормальність хлоридної кислоти;

0,028 – міліеквівалент хлоридної кислоти або вагова кількість  $\text{CaO}$ , еквівалентний вміст  $\text{HCl}$  у 1 мл 1 г хлоридної кислоти;

$m$  – маса змішаного вапна, г.

Дослід 2. *Визначення вмісту негашених зерен.* У металеву посудину циліндричної форми місткістю 8-10 л налити 3,5-4 л води, нагрітої до температури 85-90 °С і всипати 1 кг негашеного вапна, безупинно помішуючи вміст до закінчення інтенсивного виділення пару (кипіння). Отримане тісто закрити кришкою і витримати 24 год., потім розбавити холодною водою до консистенції вапняного молока і промити на ситі із сіткою № 063 слабким безупинним струменем, злегка розтираючи м'які шматочки скляною паличкою з гумовим наконечником. Залишок на ситі висушити за температури 140-150 °С до постійної маси. Склад негашених зерен (Н.З.) у відсотках обчислити за формулою

$$\text{Н.З.} = \frac{m \cdot 100}{1000},$$

де  $m$  – залишок на ситі після висушування, г.

Дослід 3. *Визначення температури і часу гасіння вапна.* Для визначення температури і часу гасіння вапна використати побутовий термос місткістю 500 мл. Маса наважки вапна ( $G$ ) у грамах визначити за формулою

$$G = \frac{1000}{A},$$

де  $A$  – склад активних кальцій і магній оксидів у вапні, %.

Масу наважки помістити у термосну колбу, влити 25 мл води, яка має температуру 20 °С і швидко перемішати дерев'яною паличкою. Колбу закрити пробкою з вставленим термометром на 100 °С і дати спокій. Ртутна кулька термометра повинна бути цілком зануреною у реагуючу суміш. Відлік температури реагуючої суміші проводять що хвилини, починаючи з моменту додавання води. Визначення вважається закінченим, якщо протягом чотирьох хвилин температура не підвищується більше, ніж на 1 °С.

За час гасіння прийняти час з моменту додавання води до початку періоду, коли збільшення температури не перевищує 0,25 °С за хвилину.

### 14.3 Питання і задачі для самоконтролю

1. Що називають в'язучими речовинами? Як їх класифікують?
2. Що називають неорганічними в'язучими речовинами? Назвіть їх основні властивості?
3. Назвіть основні типи неорганічних в'язучих речовин за умовами твердіння та водостійкості їх продуктів. Наведіть приклади.
4. Назвіть основні повітряні в'язучі речовини. Які вони мають властивості?
5. Які типи гіпсових в'язучих речовин відомі? Напишіть реакції їх отримання.
6. Напишіть реакції гідратації та твердіння вапна.
7. Які хімічні сполуки утворюються при отриманні цементного клінкера?
8. Які мінерали є основою цементного клінкера?
9. Напишіть хімічні реакції, які протікають при взаємодії мінералів цементного клінкера з водою.
10. Назвіть відмінності у складі та процесах твердіння портландцементу та алюмінатних цементів.

## Розділ № 4 ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ

### Тема 15 ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ

#### 15.1 Рекомендації до вивчення теоретичного матеріалу

*Полімери, або високомолекулярні сполуки* – це речовини, молекули яких побудовані з великої кількості атомних угруповань, які повторюються та пов'язані між собою хімічним зв'язком у довгі гнучкі ланцюги („poly” – багато, „meros” – частин). Оскільки молекула полімеру має великі розміри та високу молекулярну масу, то її називають макромолекулою. Однак не усі речовини з високою молекулярною масою відносяться до полімерів, а лише ті які мають ланцюгову будову.

Будову макромолекули можна представити декількома способами



де:  $A$  – елементарна ланка полімеру – група атомів регулярним повторенням яких побудовано полімерний ланцюг або молекула;

$n$  – ступінь полімеризації, що показує число ланок у полімерному ланцюзі.

Молекулярна маса полімера  $M_n$  дорівнює

$$M_n = M_{\text{лан}} \cdot n, \quad (15.1)$$

де  $M_{\text{лан}}$  – молекулярна маса елементарної ланки полімеру.

Ступінь полімеризації полімерів вимірюється у межах від декількох десятків до  $10^5$ , а  $M$  від 5000 до  $10^6$ . У залежності від величини молекулярної маси полімери діляться на високополімери, коли  $M \approx 10^4 - 10^6$  та *олігомери*, якщо  $500 < M < 5000$ .

*Мономери* («монос» – один) – це низькомолекулярні речовини, з яких одержують полімери. Наприклад, у молекулі поліетилену елементарною ланкою є група  $-CH_2-CH_2-$ , а полімером, з якого він одержаний, – етилен  $CH_2=CH_2$ .

Назва полімеру походить від назви мономеру плюс приставка «полі» (поліетилен, поліізопрен). Молекула полімеру може бути побудована





Рис. 15.1. Схематичне зображення будови полімерів: 1 – лінійних; 2 – розгалужених; 3 – сітчастих

– лінійні, коли молекули полімеру представляють собою довгі лінійні ланцюги з високою асиметрією (асиметрія дорівнює  $n$  – ступеню полімеризації), наприклад, поліетилен, капрон та ін.;

– розгалужені, коли молекули – довгі ланцюги з боковими відгалуженнями, при цьому  $n_{\text{гол. ланцюга}} > n_{\text{бок. ланцюга}}$ , наприклад, крохмаль, прищеплені полімери, фенолформальдегідна смола;

– сітчасті (зшиті), вони побудовані з лінійних ланцюгів, які з'єднані між собою короткими поперечними зв'язками, при цьому  $n_{\text{гол. ланцюга}} > n_{\text{зшивки}}$ , наприклад, тверді фенолформальдегідні та епоксидні смоли. Якщо  $n_{\text{гол. ланцюга}} \approx n_{\text{зшивки}}$  – це не полімер, а кристал з атомарним типом зв'язку, як, наприклад, алмаз.

Трьохмірні сітчасті полімери, наприклад, резит, вулканізований каучук, називаються просторові. Для них поняття молекулярної маси втрачає зміст, так як увесь полімер одна гігантська макромолекула.

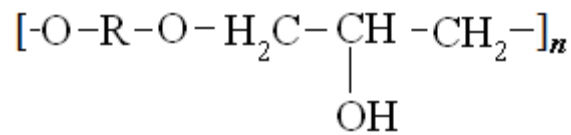
*Класифікація полімерів в залежності від складу головного ланцюга:* органічні, неорганічні та елементоорганічні полімери.

*Органічні полімери* поділяють на декілька типів

– *карболанцюгові полімери*, ланцюги яких складаються тільки з атомів вуглецю (поліетилен, полістирол та ін.);

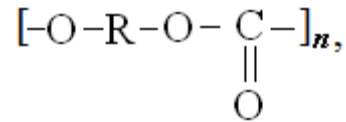
– *гетероланцюгові полімери*, ланцюги яких, крім атомів вуглецю, містять O, P, N, S. Класифікують їх по елементам, атоми яких входять до головного ланцюга: кисневмісні, сірковмісні, азотовмісні та ін. Всередині кожної з приведених груп класифікацію ведуть по функціональним групам, що входять в основний полімерний ланцюг. Наприклад, кисневмісні полімери

1) прості поліефіри  $[-O-R-]_n$ , такі як епоксидна смола

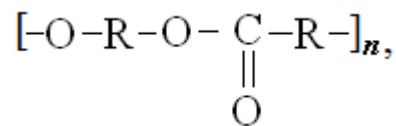


(формулу наведено без кінцевих груп);

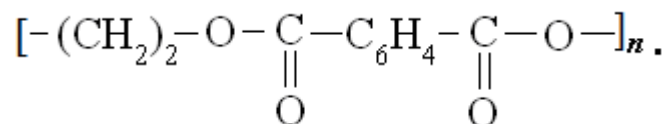
2) складні поліефіри



полікарбонати

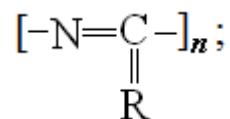


або полілентеревфталат (лавсан)



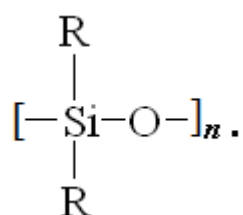
Азотовмісні полімери: поліаміди  $[-R-NH-CO-]_n$ , такі як полікапрамід  $[-(CH_2)_5-CO-NH-]_n$ , поліаміди та ін.

– полімери з системою кратних зв'язків, які можуть бути як карболанцюгові, наприклад, полівінілен  $[-CH=CH-]_n$ , так і гетероланцюгові, наприклад, полінітрил та ін.

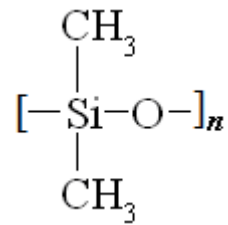


– *елементоорганічні полімери*, в основний ланцюг яких входять атоми інших елементів періодичної системи, але в бокових ланцюгах є вуглеводневі радикали. Їх класифікують по елементам, атоми яких входять в основний ланцюг

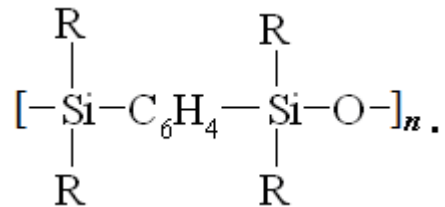
1) кремнійорганічні – поліорганосілоксани



Як, наприклад, поліметилсілоксан

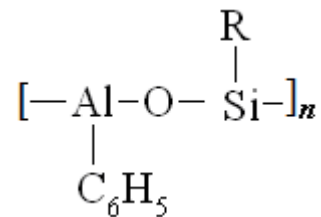


та поліорганофенілсілоксан

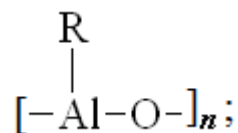


Кремнійорганічні полімери високоеластичні (каучуки), яким притаманна висока термо-, абляційна та радіаційна стійкість. У авіабудуванні вони використовуються як абляційностійкі теплозахисні покриття і герметики;

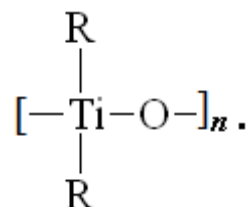
2) алюмоорганічні – поліалюмосилоксани



та поліалюмооксани



3) титаноорганічні – політitanоксани



Алюмо- і титаноорганічні полімери також наділені високою термостійкістю (високою температурою розкладу).

*Класифікація полімерів в залежності від способу одержання:* полімеризаційні (аддиційні), одержані по реакції полімеризації

(поліетилен, полістирол); поліконденсаційні, одержані по реакції поліконденсації (поліаміди, поліефіри та ін.).

*Класифікація полімерів в залежності від відношення до термообробки* розрізняє полімери термореактивні та термопластичні.

*Термореактивні полімери* здатні при нагріванні переходить у неплавкий нерозчинний стан внаслідок зшивання їх ланцюгів. Це розгалуженні полімери, у бокових ланцюгах яких є реакційноздатні функціональні групи, які при нагріванні зшивають ланцюги полімеру. У результаті цього полімер переходить із розгалуженого у просторовий і втрачає здатність розчинятися. Відбувається процес твердіння полімеру. При повторному нагріванні він розкладається – підлягає термічній деструкції.

*Термопластичні полімери* здатні при неодноразовому нагріванні розм'якшуватися. Після охолодження вони зберігають здатність до розчинення та високоеластичної деформації. Це лінійні полімери (полістирол, новолак). При їх нагріванні хімічні зміни не відбуваються, не відбувається зшивання.

Існує дві реакції, за допомогою яких одержують полімери: реакція полімеризації і реакція поліконденсації. Різниця між ними полягає у механізмі процесу.

*Реакція полімеризації* – це реакція з'єднання великої кількості молекул мономера в молекулу полімеру внаслідок розриву кратних зв'язків або циклів. Полімеризація у більшості випадків не супроводжується виділенням побічних продуктів. Молекули мономера повинні містити групи або зв'язки  $-C=C-$ ,  $C\equiv N$ ,  $C=O$  та інші, здатні до полімеризації.

*Особливості ланцюгової реакції полімеризації*

– реакція проходить по ланцюговому механізму. Полімер з великою молекулярною масою утворюється на початку реакції;

– мономер повинен бути не менше, ніж біфункціональним, тобто здатним утворювати два зв'язки;

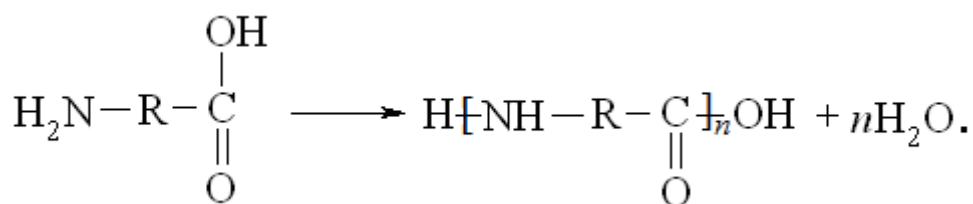
– якщо мономер біфункціональний, утворюється полімер лінійної будови; якщо три- і поліфункціональний – розгалужений або сітчастий;

– для зниження енергії активації необхідна присутність ініціаторів (або каталізаторів) або ж підведення енергії зовні (нагрівання, опромінювання);

– за невеликим виключенням у процесі реакції полімеризації не відбувається виділення побічних продуктів.

Реакція полімеризації завжди екзотермічна. Це має важливе значення при синтезі полімеру у блоці (у масі), де необхідне рівномірне відведення тепла, щоб зняти напругу у готовому полімері.

*Реакція поліконденсації* – це процес утворення полімеру із бі- та поліфункціональних сполук внаслідок взаємодії функціональних груп, що проходить з виділенням побічної низькомолекулярної речовини (води, спирту, галогеноводню та ін.). Наприклад, синтез поліаміду



#### *Особливості реакції поліконденсації*

– реакція протікає по ступінчастому механізму через стадії утворення димера, тримера, полімера. Молекулярна маса полімера зростає поступово;

– реакція зворотня, рівноважна, підлягає принципу Ле-Шательє. Для одержання полімеру з високою молекулярною масою необхідно здвигати рівновагу вправо, що досягається усуненням зі сфери реакції низькомолекулярної речовини;

– мономер повинен бути не менше ніж біфункціональним. Якщо мономер не багатофункціональний, полімер не утворюється;

– елементарна ланка поліконденсаційного полімеру відрізняється від молекул мономеру по складу і по будові.

– поліконденсаційні полімери мають вузький молекулярно-масовий розподіл, що дуже важливо при одержанні з них волокна.

– якщо мономер, який приймає участь у поліконденсації є біфункціональним, то утворюється лінійний полімер, якщо три- та більше функціональний – розгалужений (терморективний) або сітчастий полімер.

На відміну від низькомолекулярних речовин полімери володіють цілим рядом специфічних властивостей. Властивості ці обумовлені ланцюговою будовою молекул полімеру. Ланцюгова

будова забезпечує макромолекулі велику гнучкість з наступних причин

– із-за високої асиметрії молекул. Матеріал будь-якої твердості при такому співвідношенні довжини до поперечних розмірів володів би високою гнучкістю;

– у результаті вільного внутрішнього обертання окремих ділянок молекул навколо одинарних С–С зв'язків. Оскільки довжина ланцюга полімеру велика, а ланцюг гнучкий, у результаті теплового руху окремі віддалені ділянки ланцюга полімеру можуть рухатися поступово як незалежні малі молекули.

Макромолекулу умовно можна розбити на такі ділянки. Відрізок ланцюга полімеру, положення якого у просторі не залежить від положення сусідніх ланок, називається сегментом. Із-за великої гнучкості під впливом теплового руху макромолекула легко закручується у клубок тим сильніше, чим більш гнучка макромолекула. Це її найбільш вірогідна конфігурація. Гнучкі молекули завжди скручені у клубок, жорсткі – витягнуті. Жорсткість молекули оцінюється довжиною сегменту: чим сегмент коротший, тим більш гнучкий ланцюг, чим він більш довгий, тим більш жорстка макромолекула. Довжина сегменту визначає фізико-хімічні властивості полімерів: розчинність, тип деформації, діелектричні властивості та ін.

Полімери можуть знаходитися тільки у конденсованому стані: у рідкому та твердому агрегатному. В залежності від характеру розташування (орієнтації) макромолекул один відносно другого існують *аморфні та кристалічні полімери*. У кристалічних полімерів є кристалічні ґратки, спостерігається дальній порядок, тому вони знаходяться у кристалічному фазовому стані. Коли полімер плавиться, у нього зникає кристалічна ґратка. Відбувається фазовий перехід з кристалічної фази у рідку. У аморфних полімерів кристалічна ґратка відсутня, в наявності є тільки ближній порядок – порядок на відстані, що співпадає по розміру з розмірами малих молекул (як у рідині). При усіх температурах вони знаходяться у рідкому стані. Тому у них немає температури плавлення і немає фазового переходу.

Враховуючи особливості структури і властивостей аморфних полімерів, розрізняють три їх фізичних стани: склоподібне, високоеластичне та в'язко-текуче. Вони різняться між собою по

видам теплового поступового руху: по енергії молекулярної взаємодії і по типам деформації полімерів. Один і той же полімер може переходити з одного фізичного стану в інший при змінненні температури. Тому дуже зручно розглядати їх за допомогою термомеханічної кривої, яка відображає залежність деформації полімера  $\varepsilon$  від температури при постійній напрузі  $\sigma$  (рис. 15.2). Термомеханічна крива аморфного високополімеру ділиться на три ділянки, що відповідають трьом фізичним станам полімера.

I ділянка – *склоподібний стан полімерів* (рис. 15.2), у якому у полімера дуже велика міжмолекулярна взаємодія, тому відсутній поступовий рух сегментів і ланцюга у цілому. У відповідності до закону Гука вид деформації полімеру буде пружним

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (15.2)$$

де  $\sigma$  – напруга;

$\varepsilon$  – деформація;

$E$  – модуль пружності.

Пружна деформація – це зворотня деформація, коли тіло повністю відновлює свою форму одразу після зняття навантаження. Вона характеризується великим модулем пружності  $E$ . У її процесі відбувається деформація валентних кутів у молекулі і натяг валентних та міжмолекулярних зв'язків.

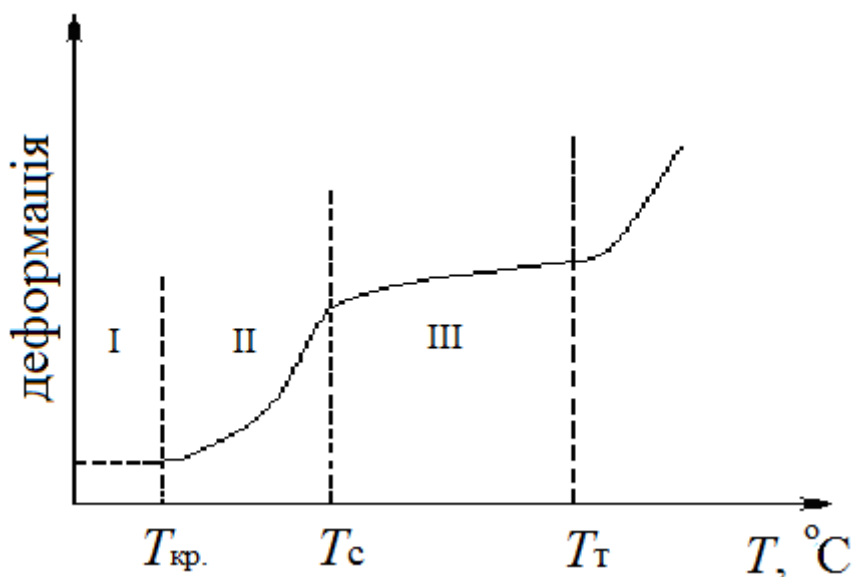
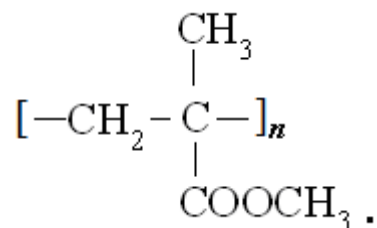


Рис. 15.2. Термомеханічна крива аморфного полімеру  $\sigma = \text{const}$

У склоподібному стані знаходиться полістирол, поліметилметакрилат, плексиглас



Дії пружної деформації підлягають і кристалічні полімери: поліетилен, поліаміди (капрон) та ін.

II ділянка – *вискоеластичний стан полімерів*, який притаманний тільки полімерам та характеризується здатністю полімера до вискоеластичної деформації. Вискоеластична деформація – це значне зворотне змінення форми тіла під впливом порівнянно невеликих напруг, які приложені. Виражається воно рівнянням подібним до закону Гука

$$\sigma_{\text{ел}} = E_{\text{ел}} \cdot \varepsilon_{\text{ел}}, \quad (15.3)$$

де: величини  $\sigma$ ,  $E$ ,  $\varepsilon$  мають той же зміст, що і в рівнянні Гука, але відносяться до вискоеластичної деформації, котра має такі особливості

– малий модуль пружності  $E_{\text{ел}}$ . Наприклад, каучук або гума при невеликих навантаженнях під час розтягу можуть збільшувати свою довжину у 5-6 разів;

– нерівноважний релаксаційний характер: під впливом механічної напруги максимального рівноважного значення деформація досягає не одразу, а через деякий час – час релаксації  $\tau$ . Після зняття напруги полімер не одразу відновлює свою довжину, а через час релаксації  $\tau$ .

III ділянка – *в'язко-текучий стан полімерів* (рис. 15.2), який характеризується рухомістю макромолекули як єдиного цілого і здатністю до пластичної незворотньої (остаточної) деформації. Даний стан притаманний тільки лінійним (але не зшитим) полімерам. Особливості в'язко-текучого стану полімерів

– висока в'язкість, що обумовлена великою молекулярною масою;

– у процесі течії полімеру в'язкість зростає настільки, що процес течії може зупинитися. Процес течії полімеру відбувається

шляхом переміщення сегментів: молекула розпрямляється, орієнтується відносно інших ланцюгів, що приводить до різкого збільшення міжмолекулярної взаємодії та кристалізації полімерів. Цю властивість використовують для одержання ниток та плівок.

## **15.2 Лабораторна робота «Визначення молекулярної маси полімеру віскозиметричним методом»**

*Мета роботи:* дослідження фізичних властивостей розчинів полімерів та визначення молекулярної маси полімеру.

*Завдання:* вимірювання в'язкості розчинів полімерів з використанням віскозиметру Оствальда. Провести обробку експериментальних даних за методом найменших квадратів і обчислити молекулярну масу полімеру.

Молекулярна маса високомолекулярних сполук – одна з важливіших характеристик полімеру, що визначає його хімічні, фізичні та технологічні властивості. Так як під час синтезу полімерів завжди отримується суміш макромолекул різної молекулярної маси (різного ступеня полімеризації), то говорять про середнє значення молекулярної маси.

Серед різних методів визначення молекулярних мас полімерів широко використовується віскозиметричний метод. Молекулярну масу полімеру віскозиметричним методом знаходять за рівнянням Марка-Хувинка

$$[\eta] = K \cdot M^\alpha, \quad (15.4)$$

де  $K$  – константа, що залежить від природи розчинника та полімеру;

$\alpha$  – константа, що характеризує форму макромолекул, може змінюватися від 0 (полімерна молекула має форму глобули) до 2 (для абсолютно жорсткої макромолекули).

Величини  $K$  та  $\alpha$  для полімерів у різних розчинниках визначають попередньо та наводять у довідникових таблицях.

## Порядок виконання роботи

Віскозиметр Оствальда застосовується для визначення в'язкості при одній концентрації. При його використанні необхідно заливати у віскозиметр однакові кількості розчинника і розчинів, так, щоб рівень їх у кульці був завжди однаковий. Віскозиметр перед вимірюванням слід ретельно вимити та висушити. Після проведення вимірювання необхідно кілька разів промити віскозиметр чистим розчинником, який використовувався для приготування розчину досліджуваного полімеру, обов'язково прополіскуючи капіляр і вимірювальну кульку. Розчини полімерів, що використовуються, не повинні містити зважених частинок, які можуть засмітити капіляр, тому необхідно проводити фільтрування розчинів через скляний фільтр. Розчинники повніші бути висушені та перегнані.

Для визначення молекулярної маси полімерів (конкретно зразок вказує викладач) необхідно приготувати розчин концентрації 1 г/100 мл розчинника.

При приготуванні розчину полімеру необхідно пам'ятати, що наважку полімеру вміщувати у суху колбу і, доливаючи необхідну кількість розчинника, розчин не перемішувати.

Потім розведенням вихідного розчину приготувати 4 розчини по 15 мл таких концентрацій: (0,2; 0,4; 0,6; 0,8) г/100 мл розчинника.

Спочатку вимірюють час витікання розчинника ( $t_0$ ). Для цього через широку трубку віскозиметру заливають 10 мл розчинника. За допомогою груші медичної затягують розчинник по капіляру вище верхньої позначки, включають секундомір і відмічають час, за який рідина дійде до нижньої відмітки. Час витікання визначають не менше трьох разів і беруть середнє значення як час витікання розчинника.

Після повторного сушіння віскозиметру аналогічно вимірюють час витікання розчину полімеру, починаючи з розчину з найменшою концентрацією, і одержують результати  $t_1, t_2, t_3, t_4$ . За результатами вимірювань знаходять середнє значення  $t_{cp}(c)$  часу витікання розчину полімеру.

За одержаними даними обчислюють відносну, питому і наведену величини в'язкості за формулами:

$$\eta_{\text{відн}} = \frac{\tau_i}{\tau_0} \quad (15.5)$$

$$\eta_{\text{пит}} = \eta_{\text{відн}} - 1 \quad (15.6)$$

$$\eta_{\text{навед}} = \frac{\eta_{\text{пит}}}{C} \quad (15.7)$$

де  $t_i$  – час витікання  $i$ -го розчину полімеру;

$C$  – концентрація розчину (г/100 мл розчинника).

Потім будують графік залежності наведеної в'язкості від концентрації розчину і екстраполяцією одержаної залежності до нульової концентрації знаходять величину характеристичної в'язкості як відрізок, що відтинається прямою на осі ординат (рис. 15.3)

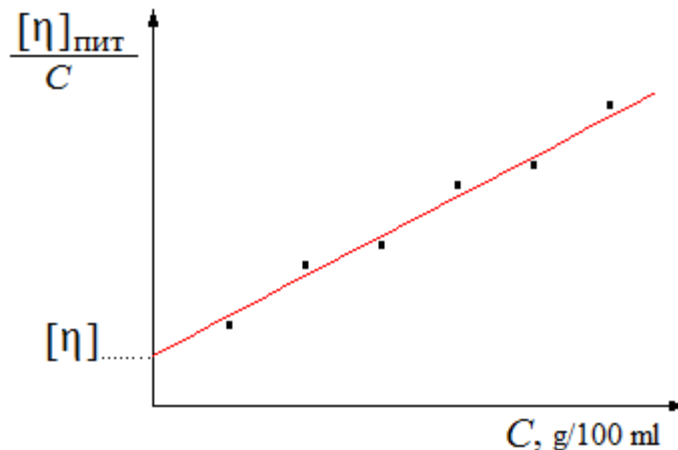


Рис 15.3 Залежність питомої в'язкості від концентрації

Точніше  $[\eta]$  розраховується за допомогою методу найменших квадратів як вільний член рівняння

$$\frac{[\eta]_{\text{пит}}}{c} = [\eta] + a \cdot C, \quad (15.8)$$

де  $a$  – числовий коефіцієнт (тангенс куту нахилу прямої).

Використовуючи величину  $[\eta]$  і дані  $K$  та  $\alpha$ , обчислюють молекулярну масу за рівнянням Марка-Хувінка за формулою (15.4). Тобто,

$$M = \exp\{(\ln[\eta] - \ln K)/\alpha\}.$$

Зробити висновок про виконану лабораторну роботу.

### 15.3 Питання і задачі для самоконтролю

1. Надайте визначення поняттям: полімер, елементарна ланка полімеру, ступінь полімеризації, молекулярна маса полімеру?

2. Надайте визначення поняттям: гомополімер, сополімер, блоксополімер, прищеплений сополімер? Як відрізняються властивості кожного з вказаних типів сополімерів від властивостей гомополімерів?

3. Написати формули елементарних ланок наступних полімерів і молекул мономерів, з яких вони одержані: а) поліетилена; б) полівінілхлорида; г) поліаміда. Які функціональні групи входять до їх складу? Як відрізняється елементарна ланка полімера від молекули мономера?

4. Які фізичні стани спостерігаються у аморфних полімерів? У чому їх особливості?

Що таке термомеханічна крива і як вона дозволяє досліджувати властивості полімерів?

6. Як впливають молекулярна маса, жорсткість полімерного ланцюга і температура на вид термомеханічної кривої і на фізичний стан аморфного полімера?

7. Які типи полімерів існують в залежності від їх фізичного стану при кімнатній температурі?

8. Які фактори і яким чином впливають на гнучкість (жорсткість) ланцюга полімеру?

# КОНТРОЛЬ РІВНЯ ЗНАНЬ НА ЗАСВОЄННЯ ЗМІСТУ ДИСЦИПЛІНИ

## Розділ №2 ОСНОВИ ЕЛЕКТРОХІМІЇ

1. ПРОЦЕС  $S^{-2} \dots \rightarrow S^{+6}$  ВІДОБРАЖАЄ

1. відновлення

2. окиснення

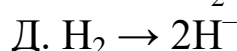
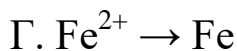
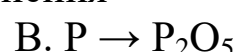
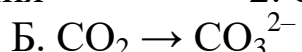
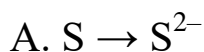
У ПРОЦЕСІ ПРИЙМАЮТЬ УЧАСТЬ ЕЛЕКТРОНИ В КІЛЬКОСТІ

А. 4;      Б. 2;      В. 6;      Г. 8.

2. ВКАЖІТЬ, ЯКІ З ПРИВЕДЕНИХ ПРОЦЕСІВ Є

1. відновлення

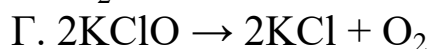
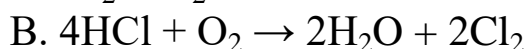
2. окиснення



3. СПОЛУКИ ХЛОРУ ПРОЯВЛЯЮТЬ ВЛАСТИВОСТІ

1. відновника

2. окисника



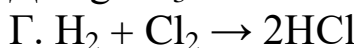
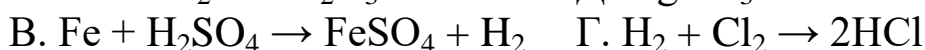
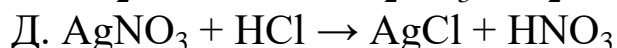
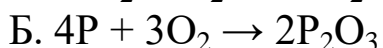
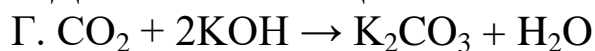
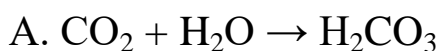
4. З НАВЕДЕНОГО РЯДУ АТОМІВ ТА ІОНІВ ВКАЖІТЬ

1. відновники

2. окисники

А.  $N^{-3}$ ;    Б.  $N^{+5}$ ;    В.  $S^{-2}$ ;    Г.  $S^{+6}$ ;    Д.  $Cl^{+7}$ ;    Е.  $Cl^-$ .

5. ВИЗНАЧТЕ ОКИСНО-ВІДНОВНІ РЕАКЦІЇ



6. СПОЛУКИ СУЛЬФУРУ РОЗТАШУЙТЕ В РЯД  
ЗБІЛЬШЕННЯ ЇХ ОКИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

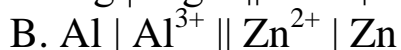
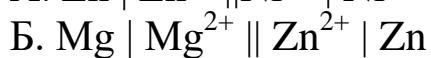
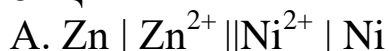


7. ЕЛЕКТРОДНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЗСУВАЄТЬСЯ У  
НЕГАТИВНУ ОБЛАСТЬ ПРИ

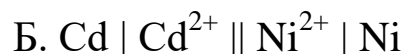
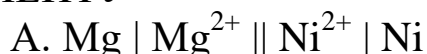
А. збільшенні окиснювальної здатності метало-іонів

Б. збільшенні відновлювальної здатності атомів металу

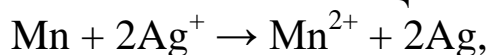
8. ЦИНК ОКИСНЮЄТЬСЯ У ГАЛЬВАНІЧНОМУ ЕЛЕМЕНТІ



9. СТРОК ПРАЦІ КОРОТШИЙ ДЛЯ ГАЛЬВАНІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ



10. ЕЛЕКТРОРУШІЙНА СИЛА ГАЛЬВАНІЧНОГО ЕЛЕМЕНТА В, ЯКОМУ ПРОТІКАЄ РЕАКЦІЯ

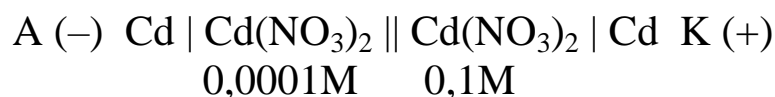


ЗБІЛЬШУЄТЬСЯ ПРИ УМОВІ

А. збільшення концентрації іонів  $\text{Ag}^+$

Б. збільшення концентрації іонів  $\text{Mn}^{2+}$

11. ЕЛЕКТРОРУШІЙНА СИЛА КОНЦЕНТРАЦІЙНОГО ГАЛЬВАНІЧНОГО ЕЛЕМЕНТА



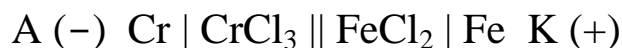
А.  $0,059 \lg 10^3$

Б.  $0,059 \lg 10^{-3}$

В.  $\frac{0,059}{2} \lg 10^3$

Г.  $\frac{0,059}{2} \lg 10^{-3}$

12. ЕЛЕКТРОРУШІЙНА СИЛА ГАЛЬВАНІЧНОГО ЕЛЕМЕНТА



В СТАНДАРТНИХ УМОВАХ

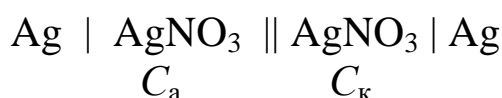
А.  $-0,3 \text{ В}$

Б.  $0,3 \text{ В}$

В.  $-1,08 \text{ В}$

Д.  $1,08 \text{ В}$

13. ЗБІЛЬШЕННЮ ЕРС ГАЛЬВАНІЧНОГО ЕЛЕМЕНТА



СПРИЯЄ

1. ЗМЕНШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ  $C_a$

2. ЗМЕНШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ  $C_k$
3. ЗБІЛЬШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ  $C_a$
4. ЗБІЛЬШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ  $C_k$

- А. правильно 1,2  
 Б. правильно 3,4  
 В. правильно 1,4  
 Г. правильно 2,3

14. ЕЛЕКТРОДНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СВИНЦЮ В  $10^{-6}$  М РОЗЧИНІ СОЛІ  $PbCl_2$

- А.  $-0,188$  В    Б.  $-0,072$  В    В.  $-0,014$  В    Г.  $-0,159$  В    Д.  $-0,307$  В

15. ЕРС ГАЛЬВАНІЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ, ЩО СКЛАДАЄТЬСЯ З ЗОЛОТОГО ЕЛЕКТРОДУ, ЗАНУРЕНОГО У  $10^{-6}$  М РОЗЧИН СОЛІ  $Au(NO_3)_3$ , ТА ОЛОВ'ЯНОГО ЕЛЕКТРОДУ, ЗАНУРЕНОГО У  $10^{-4}$  М РОЗЧИН  $Sn(NO_3)_2$  ДОРІВНЮЄ

- А.  $-1,636$  В    Б.  $1,36$  В    В.  $1,636$  В    Г.  $1,582$  В    Д.  $1,698$  В

16. ЕЛЕКТРОДИ ГАЛЬВАНІЧНОГО ЕЛЕМЕНТА

Анод гальванічного елемента	Можливі варіанти катода
1. Ni	А. Cd і Cu Б. Pb і Cu
2. Mn	В. Zn і Al Г. Mg і Al

17. ХІМІЧНІ ДЖЕРЕЛА СТРУМУ

Вид хімічного джерела струму	Характеристика електрохімічної реакції	Приклад
1. первинні	А. оборотна	I. Zn / $NH_4Cl$ / $MnO_2$ , С II. Pb / $H_2SO_4$ / $PbO_2$ , Pb
2. вторинні	Б. необоротна	III. Fe / KOH / $Ni_2O_3$ , Ni IV. Zn / KOH / HgO, С V. Zn / NaOH / $O_2$ , С

18. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КИСЛОТНИХ І ЛУЖНИХ АКУМУЛЯТОРІВ

Тип електроліту акумулятора	Переваги	Недоліки
1. кислотний	А. високе значення ККД	I. виска вартість
2. лужний	Б. добре переносять	II. нездатність тривало

перегрів	та зберігати запас енергії
перевантаження	III. велика вага
В. нечутливість до надлишкового заряду та розряду	IV. нездатність розряджатися великими токами
Г. велике число циклів роботи	V. процес сульфатації
Д. тривалий строк експлуатації (до 15 років)	VI. невелике число циклів роботи (300–500)
	VII. малий строк зберігання без електроліту (1–2 роки)

19. У КЛАСИФІКАЦІЮ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА УМОВАМИ ПРОТІКАННЯ НЕ ВКЛЮЧЕНА КОРОЗІЯ

- |               |               |
|---------------|---------------|
| А. газова     | Г. нитковидна |
| Б. атмосферна | Д. плямами    |
| В. контактна  | Е. ґрунтова   |

20. РІЗНИЙ ДОСТУП КИСНЮ ЗАБЕЗПЕЧИТЬ РУЙНУВАННЯ ТРУБИ

- А. с кінця у глинистому шарі  
Б. с кінця у шарі торфу



21. КОРОЗІЯ В ЛУЖНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ВІДСУТНЯ ДЛЯ КОНТАКТНОЇ ПАРИ МЕТАЛІВ

- |          |          |          |
|----------|----------|----------|
| А. Fe/Cu | Б. Fe/Zn | В. Fe/Al |
|----------|----------|----------|

22. ЗАХИСТ СТАЛЕВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВІД КОРОЗІЇ ПРОТЕКТОРОМ З МАГНІЮ В КИСЛОМУ СЕРЕДОВИЩІ ВИРАЖАЄТЬСЯ РІВНЯННЯМИ

- |   |  |
|---|--|
| 1. А (-) $\text{Fe} - 2\bar{e} = \text{Fe}^{2+}$<br>К (+) $2\text{H}^+ + 2\bar{e} = \text{H}_2$   | 3. А (-) $\text{Mg}^0 - 2\bar{e} = \text{Mg}^{2+}$<br>К (+) $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} = 4\text{OH}^-$ |
| 2. А (-) $\text{Mg} - 2\bar{e} = \text{Mg}^{2+}$<br>К (+) $\text{Fe}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Fe}$ | 4. А (-) $\text{Mg} - 2\bar{e} = \text{Mg}^{2+}$<br>К (+) $2\text{H}^+ + 2\bar{e} = \text{H}_2$                          |

23. МЕТАЛЕВІ ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ НАНОСЯТЬСЯ У ПРОЦЕСАХ

- |               |               |
|---------------|---------------|
| А. анодування | Г. легування  |
| Б. цинкування | Д. алітування |

В. лудіння

Е. травлення

## 24. КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ

Вид корозії	Середовище	Умови протікання
1. хімічна	А. розчин електроліту	I. нафтові масла
2. електрохімічна	Б. газове	II. морська вода
	В. середовище неелектроліту	III. газоподібний водень
		IV. атмосферне повітря
		V. ґрунтова вода
		VI. контакт різних металів
		VII. атмосфера CO <sub>2</sub>

## 25. КОРОЗІЯ ЗАЛІЗА У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Середовище	Рівняння реакції		Продукти корозії
	анодної	катодної	
1. кисле	А. $\text{Fe}^0 - 3\bar{e} = \text{Fe}^{3+}$	А. $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	I. сіль
2. нейтральне	Б. $\text{Fe}^0 - 2\bar{e} = \text{Fe}^{2+}$	Б. $2\text{H}^+ + 2\bar{e} = \text{H}_2$	II. оксид
	В. $2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} = \text{O}_2 + 4\text{H}^+$	В. $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\bar{e} = 4\text{OH}^-$	III. гідроксид

26. ВКАЖІТЬ ПОСЛІДОВНІСТЬ КАТОДНОГО ВИДІЛЕННЯ МЕТАЛІВ З РОЗЧИНУ, ЯКИЙ ВМІЩУЄ СУМІШ ІОНІВ

А. Cr<sup>3+</sup>

Б. Zn<sup>2+</sup>

В. Ag<sup>+</sup>

Г. Cu<sup>2+</sup>

27. ПРИ ЕЛЕКТРОЛІЗІ ВОДНОГО РОЗЧИНУ СОЛІ Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> НА АНОДІ ПРОХОДИТЬ РЕАКЦІЯ  $2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$ . МАТЕРІАЛОМ АНОДУ Є

А. Cd

Б. Ag

В. Pt

28. ЗНАЧЕННЯ pH У ПРИЕЛЕКТРОДНОМУ ПРОСТОРИ ОДНОГО З ЕЛЕКТРОДІВ ЗРОСЛО ПРИ ЕЛЕКТРОЛІЗІ СОЛІ

А. Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

Б. CuCl<sub>2</sub>

В. K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

29. ПРИ ЕЛЕКТРОЛІЗІ РОЗЧИНУ NaCl І ЙОГО РОЗПЛАВУ ВІДРІЗНЯЮТЬСЯ ПРОЦЕСИ

А. анодні

Б. катодні

30. РОЗКЛАДАННЯ ВОДИ ПРОХОДИТЬ ПРИ ЕЛЕКТРОЛІЗІ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ

А. KI

Б. KNO<sub>3</sub>

В. Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

Г. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

31. ОДНАКОВІ ПРОДУКТИ УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ ЕЛЕКТРОЛІЗІ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ

А.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; Б.  $\text{CuSO}_4$ ; В.  $\text{KCl}$ ; Г.  $\text{FeCl}_2$ ; Д.  $\text{KNO}_3$ ; Е.  $\text{MgCl}_2$

32. КОНЦЕНТРАЦІЯ ЯКИХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ З НАВЕДЕНИХ СОЛЕЙ

А.  $\text{CdBr}_2$ ; Б.  $\text{NaNO}_3$ ; В.  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; Г.  $\text{ZnI}_2$

ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕЛЕКТРОЛІЗУ

1. зростає

2. зменшується

33. В АНОДНОМУ ПРОСТОРИ НАКОПИЧУЄТЬСЯ КИСЛОТА ПРИ ЕЛЕКТРОЛІЗІ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ

А.  $\text{NaJ}$

Б.  $\text{FeCl}_2$

В.  $\text{LiNO}_3$

Г.  $\text{FeSO}_4$

34. МАСА СРІБЛА, ЯКА ВИДІЛЯЄТЬСЯ НА КАТОДІ ПРИ ПРОПУСКАННІ СТРУМУ СИЛОЮ 6 А ЧЕРЕЗ РОЗЧИН  $\text{AgNO}_3$  НА ПРОТЯЗІ 30 ХВ, ДОРІВНЮЄ

А.  $\frac{6 \cdot 30 \cdot 108}{96500}$ ; Б.  $\frac{6000 \cdot 30 \cdot 60 \cdot 108}{96500}$ ; В.  $\frac{30 \cdot 60 \cdot 108}{6 \cdot 96500}$ ; Г.  $\frac{6 \cdot 30 \cdot 60 \cdot 108}{96500}$

35. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ

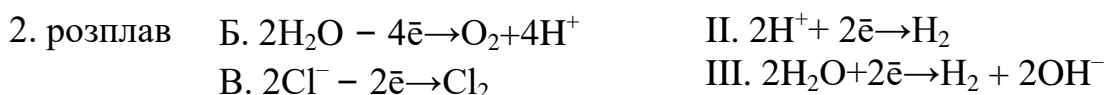
Процес	Заряди електродів		Перетворення енергії
	аноду	катоду	
1. Корозія	А. позитивний	В. негативний	І. Електрична $\rightarrow$ енергія хімічних зв'язків
2. Електроліз	Б. негативний	Г. позитивний	ІІ. Енергія хімічних зв'язків $\rightarrow$ електрична

36. АНОДНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ЕЛЕКТРОЛІЗІ

Заряд аноду	Електродні процеси	Рухаються до аноду
1. позитивний	А. відновлення	І. $\text{OH}^-$ ІІ. $\text{Na}^+$
2. негативний	Б. окислення	ІІІ. $\text{H}^+$ ІV. $\text{SO}_4^{2-}$

37. ЕЛЕКТРОДНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ЕЛЕКТРОЛІЗІ СОЛІ  $\text{MgCl}_2$

Вид солі	Електродний процес	
	анодний	катодний
1. розчин	А. $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	І. $\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$



### 38. РАФІНУВАННЯ МІДІ

Матеріал аноду	Накопичення рафінованої міді	Електродні реакції	
		анодна	катодна
1. чиста мідь	А. в розчині	I. $2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$	IV. $\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cu}$
2.	Б. на катоді	II. $4\text{OH}^- - 4\bar{e} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	V. $2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2$
забруднена мідь	В. в анодному шламі	III. $\text{Cu} - 2\bar{e} \rightarrow \text{Cu}^{2+}$	VI. $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

### 39. ЕЛЕКТРОЛІЗ ВОДНОГО РОЗЧИНУ СОЛІ $\text{ZnCl}_2$

Вид аноду	Електродні реакції	
	анодні	катодні
1. цинковий	А. $2\text{Cl}^- - 2\bar{e} \rightarrow \text{Cl}_2$	I. $2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2$
2. графітовий	Б. $2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$	II. $\text{Zn}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Zn}$
	В. $4\text{OH}^- - 4\bar{e} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	III. $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
	Г. $\text{Zn} - 2\bar{e} \rightarrow \text{Zn}^{2+}$	

### 40. КАТОДНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ЕЛЕКТРОЛІЗІ

Положення металу в ряду напружень металів	Катодні реакції в середовищі розчинів солей	
	кисле	нейтральне та лужне
1. $E_{\text{Me}}^0 > E_{\text{Al}}^0$	А. $2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2$	I. відновлення іонів металу
2. $E_{\text{Me}}^0 \leq E_{\text{Al}}^0$	Б. $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	II. $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
	В. відновлення іонів металу	

## Розділ №3

# ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ І НЕОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ РЕЧОВИНИ

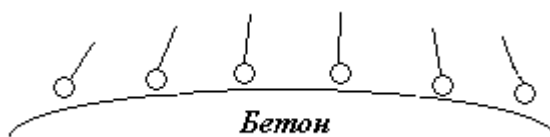
1. АГРЕГАТНИЙ СТАН ДИСПЕРСІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА В ПІНАХ

- А. рідкий
- Б. рідкий і твердий
- В. рідкий, твердий і газоподібний

2. ДИСПЕРГУВАННЮ ЯК СПОСОБУ ОДЕРЖАННЯ ЗОЛІВ ВІДПОВІДАЮТЬ

- А. вплив ультразвуком
- Б. стирання в ступці
- В. реакція окиснення-відновлення
- Г. колоїдний млин
- Д. заміна розчинника
- Е. кульовий млин

3. ЗОБРАЖЕННЯ ГІДРОФОБІЗАЦІЇ ПОВЕРХНІ БЕТОНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАР



- А. правильно
- Б. неправильно

4. РОЗТАШУЙТЕ ЕЛЕКТРОЛІТИ В РЯД ЗМЕНШЕННЯ ЇХНЬОЇ ЗДАТНОСТІ ДО КОАГУЛЯЦІЇ ВІДНОСНО ЗОЛЯ З ПОЗИТИВНО ЗАРЯДЖЕНИМИ КОЛОЇДНИМИ ЧАСТКАМИ

- А.  $\text{Na}_3\text{VO}_3$
- Б.  $\text{NaJ}$
- В.  $\text{Na}_4\text{TiO}_4$
- Г.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

5. ХАРАКТЕРИСТИКИ СУСПЕНЗІЙ

<i>Позначення</i>	<i>Дисперсність</i>	<i>Приклад</i>
1. $P_1-P_2$	А. низькодисперсна	І. молоко
2. $P_1-T_2$	Б. високодисперсна	ІІ. мильний розчин
		ІІІ. бетон
		ІV. паста
		V. крем

## 6. СТІЙКІСТЬ ЗОЛІВ

<i>Фактори, що визначають стійкість</i>	<i>Вид золю</i>	<i>Приклад</i>
1. заряд колоїдних часток	А. ліофільний	I. золь солі
2. сольватна оболонка	Б. ліофобний	II. розчин білка
3. наявність шару ПАР		III. золь металу IV. розчин желатину

7. ТВЕРДЖЕННЯ, ЩО ГІДРАВЛІЧНА АКТИВНІСТЬ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН ЗБІЛЬШУЄТЬСЯ З РОСТОМ РОЗМІРУ КРИСТАЛІВ РЕЧОВИНИ

А. правильно

Б. неправильно

8. СИРОВИНОЮ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БУДІВЕЛЬНОГО ГІПСУ Є ПРИРОДНИЙ МІНЕРАЛ

1. $\text{CaSO}_4$	3. $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ;
2. $\text{CaCO}_3$	4. $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,
А ОСНОВНИМ КОМПОНЕНТОМ	
А. $\text{CaO}$	Г. $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$
Б. $\text{CaCO}_3$	Д. $\text{Ca}(\text{OH})_2$
В. $\text{CaSO}_4$	Е. $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$

9. СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ВАПНА ЗОДИТЬСЯ ДО

- А. спікання суміші вапна та глини
- Б. дегідратації мінералу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
- В. декарбонізації вапняку або доломіту

10. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДІВ ГІПСУ

<i>Види гіпсу</i>	<i>Формула</i>	<i>Максимальна температура обпалу</i>
1. Низькообпалений	А. $\text{CaSO}_4$	I. 180 °С
2. Високообпалений	В. $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ С. $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	II. 1100 °С III. 900 °С

## 11. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДІВ ВАПНА

<i>Вид вапна</i>	<i>Склад</i>	<i>Вид в'язучої речовини</i>
1. Гідратне гашене	А. СаО	I. Гідравлічні
2. Гідравлічне	Б. Са(ОН) <sub>2</sub>	II. Повітряні
3. Негашене	В. 70-80 % силікатів і алюмінатів Са	

## 12. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ВИПАЛІ СИРОВІННОЇ СУМІШІ У ВИРОБНИЦТВІ ЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ

<i>Основний процес</i>	<i>Зона обертової печі</i>	<i>Максимальна температура</i>
А. охолодження суміші	I	1. 1300 °С
Б. комкування суміші	II	2. 600 °С
В. насичення вапном алюмінатів	III	3. 1450 °С
Г. насичення вапном силікатів	IV	4. 800 °С
Д. розкладання вапняку	V	5. 1200 °С
Є. дегідратація каолініту	VI	

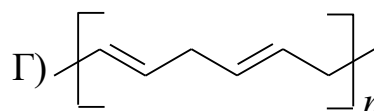
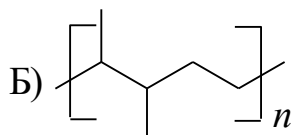
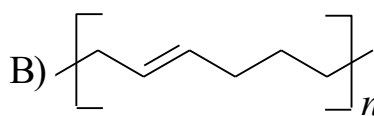
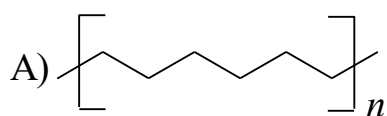
## Розділ №4

### ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНІ СПОЛУКИ

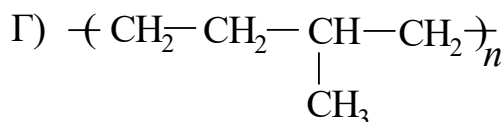
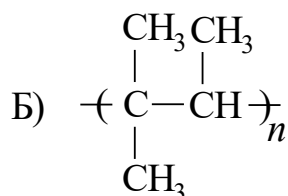
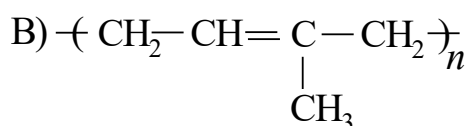
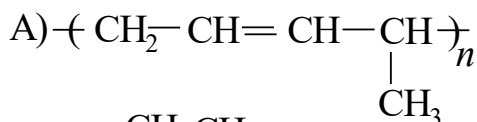
1. В РЕЗУЛЬТАТІ РЕАКЦІЇ ПОЛІКОНДЕНСАЦІЇ ОТРИМУЮТЬ

- А. фенолформальдегідні смоли;
- Б. ізопреновий каучук;
- В. нітроцелюлозу;
- Г. поліпропілен.

2. ФОРМУЛА, ЯКА ВІДОБРАЖУЄ БУДОВУ ПРОДУКТУ СУМІСНОЇ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ БУТЕН-2-ОНУ ТА ЕТИЛЕНУ



3. БУДОВА ПОЛІМЕРУ, ЯКИЙ УТВОРЮЄТЬСЯ ПРИ ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ 2-МЕТИЛБУТА-1,3-ДІЄНУ



4. В ЯКОСТІ ВИХІДНИХ СПОЛУК ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ ВИКОРИСТОВУЮТЬ

- А. етиленгліколь та гліцерил;
- Б. гліцерол та терефталеву кислоту;
- В. етиленгліколь та оцтову кислоту;
- Г. терефталеву кислоту та етиленгліколь.

5. ПОЛІМЕРОМ СИНТЕТИЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ Є

- А. крохмаль
- Б. глікоген

- В. целюлоза
- Г. поліпропілен

6. НАЗВА МОНОМЕРУ, ПОЛІМЕРИЗУЮЧИ ЯКИЙ МОЖНА ЗДОБУТИ ПОЛІМЕР БУДОВИ



- А. етилен
- Б. бут-1-ен
- В. бут-2-ен
- Г. бут-1,3-дієн

7. СМОЛОПОДІБНІ СПОЛУКИ УТВОРЮЮТЬСЯ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ФЕНОЛУ З

1. формальдегідом;
2. хлорангідридом оцтової кислоти;
3. ацетальдегідом;
4. адипіновою кислотою;

ПРАВИЛЬНО

- А. 1, 2
- Б. 2, 3
- В. 1, 3
- Г. 1, 2, 4

# ДОДАТОК

Таблиця Д1

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ																			
ПЕРІОДИ	ГРУПИ ЕЛЕМЕНТІВ																		
	A	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III	IV	V	VI	VII	
1	<b>H</b> Гідроген																<b>He</b> Гелій		
2	<b>Li</b> Літій	<b>Be</b> Берилій	<b>B</b> Бор	<b>C</b> Карбон	<b>N</b> Нітроген	<b>O</b> Оксиген	<b>F</b> Флуор	<b>Ne</b> Неон											
3	<b>Na</b> Натрій	<b>Mg</b> Магній	<b>Al</b> Алюміній	<b>Si</b> Силіцій	<b>P</b> Фосфор	<b>S</b> Сулфур	<b>Cl</b> Хлор	<b>Ar</b> Аргон											
4	<b>K</b> Калій	<b>Ca</b> Кальцій	<b>Sc</b> Скандій	<b>Ti</b> Титан	<b>V</b> Ванадій	<b>Cr</b> Хром	<b>Mn</b> Манган	<b>Fe</b> Ферум	<b>Co</b> Кобальт	<b>Ni</b> Нікел									
5	<b>Rb</b> Рубідій	<b>Sr</b> Стронцій	<b>Y</b> Ітрієвий	<b>Zr</b> Цирконій	<b>Nb</b> Ніобій	<b>Mo</b> Молибден	<b>Tc</b> Технецій	<b>Ru</b> Рутеній	<b>Rh</b> Родій	<b>Pd</b> Паладій									
6	<b>Cs</b> Цезій	<b>Ba</b> Барій	<b>La*</b> Лантан	<b>Hf</b> Гафній	<b>Ta</b> Тантал	<b>W</b> Вольфрам	<b>Re</b> Реній	<b>Os</b> Осмій	<b>Ir</b> Іридій	<b>Pt</b> Платина									
7	<b>Fr</b> Францій	<b>Ra</b> Радій	<b>Ac**</b> Актиній	<b>Rf</b> Резерфордій	<b>Db</b> Дубній	<b>Sg</b> Сиборгій	<b>Bh</b> Борій	<b>Hs</b> Гасій	<b>Mt</b> Майтнерій	<b>Uun</b> Унунілій									
Висні оксиди	$R_2O$	$RO$	$R_2O_3$	$RO_2$	$R_2O_5$	$RO_3$	$R_2O_7$		$RO_4$										
Леткі воднені сполуки				$RH_4$	$RH_3$	$RH_2$	$RH$												
*	<b>Ce</b> Церій	<b>Pr</b> Празеодим	<b>Nd</b> Неодим	<b>Pm</b> Прометій	<b>Sm</b> Самарій	<b>Eu</b> Європій	<b>Gd</b> Гадоліній	<b>Tb</b> Тербій	<b>Dy</b> Диспрозій	<b>Ho</b> Гольмій	<b>Er</b> Ербій	<b>Tm</b> Тулій	<b>Yb</b> Ітербій	<b>Lu</b> Лютецій					
**	<b>Th</b> Торій	<b>Pa</b> Практиній	<b>U</b> Уран	<b>Np</b> Нептуній	<b>Pu</b> Плутоній	<b>Am</b> Амерцій	<b>Cm</b> Кюрій	<b>Bk</b> Берклій	<b>Cf</b> Каліфорній	<b>Es</b> Ейнштейній	<b>Fm</b> Фермій	<b>Md</b> Менделевій	<b>No</b> Нобелій	<b>Lr</b> Лауренцій					



## Стандартні електродні потенціали при 25° С

Електрод	Електродна реакція	$E^{\circ}$ , В
Li <sup>+</sup> /Li	Li <sup>+</sup> + e = Li	-3,04
K <sup>+</sup> /K	K <sup>+</sup> + e = K	-2,93
Ba <sup>2+</sup> /Ba	Ba <sup>2+</sup> + 2e = Ba	-2,91
Ca <sup>2+</sup> /Ca	Ca <sup>2+</sup> + 2e = Ca	-2,87
Na <sup>+</sup> /Na	Na <sup>+</sup> + e = Na	-2,71
Mg <sup>2+</sup> /Mg	Mg <sup>2+</sup> + 2e = Mg	-2,36
Be <sup>2+</sup> /Be	Be <sup>2+</sup> + 2e = Be	-1,85
Al <sup>3+</sup> /Al	Al <sup>3+</sup> + 3e = Al	-1,66
Mn <sup>2+</sup> /Mn	Mn <sup>2+</sup> + 2e = Mn	-1,18
Zn <sup>2+</sup> /Zn	Zn <sup>2+</sup> + 2e = Zn	-0,76
Cr <sup>3+</sup> /Cr	Cr <sup>3+</sup> + 3e = Cr	-0,74
Fe <sup>2+</sup> /Fe	Fe <sup>2+</sup> + 2e = Fe	-0,44
Cd <sup>2+</sup> /Cd	Cd <sup>2+</sup> + 2e = Cd	-0,40
Co <sup>2+</sup> /Co	Co <sup>2+</sup> + 2e = Co	-0,28
Ni <sup>2+</sup> /Ni	Ni <sup>2+</sup> + 2e = Ni	-0,25
Mo <sup>3+</sup> /Mo	Mo <sup>3+</sup> + 3e = Mo	-0,20
Sn <sup>2+</sup> /Sn	Sn <sup>2+</sup> + 2e = Sn	-0,14
Pb <sup>2+</sup> /Pb	Pb <sup>2+</sup> + 2e = Pb	-0,13
H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub> , Pt	H <sup>+</sup> + e = <sup>1</sup> / <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,00
Cu <sup>2+</sup> /Cu	Cu <sup>2+</sup> + 2e = Cu	+0,34
Cu <sup>+</sup> /Cu	Cu <sup>+</sup> + e = Cu	+0,52
Ag <sup>+</sup> /Ag	Ag <sup>+</sup> + e = Ag	+0,80
Hg <sup>2+</sup> /Hg	Hg <sup>2+</sup> + 2e = Hg	+0,85
Pd <sup>2+</sup> /Pd	Pd <sup>2+</sup> + 2e = Pd	+0,99
Au <sup>3+</sup> /Au	Au <sup>3+</sup> + 3e = Au	+1,50

# СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## Основна література

1. Основи хімії: навчальний посібник / Е.Б. Хоботова, Л.М. Єгорова, Т.О. Ненастіна, В.В. Даценко. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 248 с.
2. Хоботова Э.Б., Маракина Л.Д. Конспект лекцій по дисципліне «Химия» раздел «Поверхностные явления. Дисперсные системы». – Х.: ХНАДУ, 2004. – 58 с.
3. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Хімія» / Гнилицька А.І., Єгорова Л.М. – Х.: ХНАДУ, 2010. – 39 с.
4. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни «Хімія» до змістового модуля «Електрохімічні процеси» розділ «Хімічні джерела струму. Первинні гальванічні та паливні елементи» / Ненастіна Т.О., Даценко В.В., Хоботова Е.Б. – Х.: ХНАДУ, 2017. – 28 с.
5. Тестові завдання з дисципліни «Хімія». Блоки змістових модулів «Розчини», «Дисперсні системи», «Неорганічні в'язучі речовини» / Хоботова Е.Б., Єгорова Л.М., Маракіна Л.Д. – Х.: ХНАДУ, 2007. – 103 с.
6. Пакети тестів за окремими заліковими модулями дисципліни «Хімія»: навчальний посібник / Е.Б. Хоботова, В.І. Нікітін – Х.: ХНАДУ, 2008. – 292 с. (Гриф надано Міністерством освіти і науки України №1.4/18-Г-846 від 11.04.2008 р.)
7. Хоботова Е.Б. Тестові завдання з дисципліни «Хімія»: Навчально-методичний посібник / Хоботова Е.Б. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 223 с.

## Додаткова література

1. Загальна та неорганічна хімія / Романова Н.В. – Київ: Ірпінь, 1998. – 480 с.
2. Загальна хімія / Вдовенко О.П. – Вінниця: Нова Книга, 2005. – 288 с.
3. Семінарський та лабораторний курс з неорганічної хімії [скорочений посібник] / Губіна К.Є., Слободяник М.С. – Київ: Київський нац. ун-т ім. Т. Шевченка, 2007. – 191 с.