

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до виконання самостійної та контрольної робіт  
із навчальної дисципліни

**«АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ»**

*(для студентів 1–2 курсів денної та заочної форм навчання  
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
спеціалізація (освітня програма) «Гідротехніка (водні ресурси)»)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2018**

Методичні рекомендації до виконання самостійної та контрольної робіт із навчальної дисципліни «Аналітична хімія» (для студентів 1–2 курсів денної та заочної форм навчання спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізація (освітня програма) «Гідротехніка (водні ресурси)» / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ;уклад. : О. О. Мураєва, Т. Д. Панайотова, І. С. Зайцева. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 63 с.

Укладачі: канд. хім. наук О. О. Мураєва,  
канд. хім. наук Т. Д. Панайотова,  
канд. хім. наук І. С. Зайцева

Рецензент

К. Б. Сорокіна, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очистки вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою хімії, протокол № 3 від 24.10.2017.*

## ЗМІСТ

Передмова .....	4
Завдання 1 Розчини. Кількісний склад розчинів.....	5
Завдання 2 Водневий показник. Гідроліз солей.....	15
Завдання 3 Метод нейтралізації – кислотно-основне титрування.....	25
Завдання 4 Метод комплексонометричного титрування. Трилонометрія.....	31
Завдання 5 Титриметричний метод осадження.....	40
Завдання 6 Методи окисно-відновного титрування.....	48
Список рекомендованої літератури.....	56
Додаток А Константи дисоціації електролітів за температури 25 <sup>0</sup> С .....	57
Додаток Б Вода питна. Вимоги нормативних документів до показників якості води.....	57
Додаток В Добуток розчинності електролітів за температури 25 <sup>0</sup> С.....	60
Додаток Г Вказівки до виконання контрольної роботи.....	61

## **ПЕРЕДМОВА**

Виконання контрольної роботи є однією із складників самостійної роботи студента під час вивчення предмета. Безпосередньому виконанню роботи передуює вивчення теоретичного матеріалу одночасно з детальним розглядом прикладів розв'язання типових для кожного розділу завдань. Такі приклади наведені на початку відповідного розділу цих вказівок. Розв'язанню задач передують короткі відомості з теоретичних питань. На цьому етапі і під час виконання завдання можна використовувати навчальні посібники з наведеного в кінці вказівок списку літератури. Не слід переходити до вивчення нових розділів курсу, доки детально не вивчений попередній.

Методичні вказівки включають шість розділів, що охоплюють практично весь курс кількісного аналізу і три додатки, необхідні для розв'язання задач.

Кожен студент виконує індивідуальний варіант контрольної роботи. Докладні вказівки до виконання контрольної роботи наведені в Додатку Г (С. 61).

## ЗАВДАННЯ 1

### РОЗЧИНИ. КІЛЬКІСНИЙ СКЛАД РОЗЧИНІВ

**Засвоїти наступний матеріал:** розчини, способи вираження їхнього складу. Концентрація розчинів: молярна, моляльна, молярна концентрація еквіваленту, масова частка розчиненої речовини (%), мольна частка розчиненої речовини.

#### Теоретична частина

**Концентрація** – це найважливіша характеристика будь-якого розчину. Вона визначає вміст речовини в одиниці маси або об'єму розчину (іноді розчинника).

#### Позначення:

$X$  – розчинена речовина;

$m(X)$  – маса речовини, г;

$m_{\text{розч.}}$  – маса розчину, г;

$m(Y)$  – маса розчинника, г;

$V_{\text{розч.}}$  – об'єм розчину, л;

$\rho_{\text{розч.}}$  – густина розчину, г/см<sup>3</sup>;

$n(X)$  – кількість речовини, моль;

$f_{\text{екв}}(X)$  – фактор еквівалентності речовини;

$n(f_{\text{екв}}(X)X)$  – кількість речовини еквівалента, моль;

$M(X)$  – молярна маса речовини, г/моль;

$M(f_{\text{екв}}(X)X)$  – молярна маса еквівалента речовини, г/моль.

ІЮПАК рекомендує використовувати кілька способів вираження кількісного складу розчинів, які ґрунтуються на сталості маси розчину, розчиненої речовини, розчинника чи об'єму розчину.

## Способи вираження кількісного складу розчинів

**1. Масова частка речовини в розчині** –  $\omega(X)$  – це відношення маси розчиненої речовини  $m(X)$ , що міститься в розчині, до загальної маси цього розчину  $m_{\text{розч.}}$ . Форма запису:

$$\omega(X) = \frac{m(X)}{m_{\text{розч.}}} \quad (\text{у долях}) \quad \text{або} \quad \omega(X) = \frac{m(X)}{m_{\text{розч.}}} \cdot 100 \% \quad (\text{у відсотках}) \quad (1.1)$$

Дозволяється виражати масову частку речовини у частках одиниці (долях) або відсотках. Масова частка, виражена у відсотках, часто називається *відсотковою концентрацією*. Відсоткова концентрація показує, яка маса розчиненої речовини міститься в 100 г розчину. Наприклад, масова частка речовини  $\text{H}_2\text{SO}_4$  у розчині сульфатної кислоти дорівнює 20 %. Це означає, що у 100 г розчину міститься 20 г речовини  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

**2. Молярна або мольна частка розчиненої речовини X у розчині** – це відношення кількості речовини X (в молях), що міститься у цьому розчині, до загальної кількості речовин у розчині (в молях). Форма запису:

$$\chi(X) = \frac{n(X)}{n(X) + n(Y)} = \frac{m(X)/M(X)}{m(X)/M(X) + m(Y)/M(Y)}, \quad (1.2)$$

де  $\chi(X)$  – молярна або мольна частка розчиненої речовини X ;

$n(X)$  – кількість молів розчиненої речовини X;

$n(Y)$  – кількість молів розчинника Y.

Одиниця вимірювання відносна. Допускається виражати молярну або мольну частку в таких же одиницях, як і масову частку розчиненої речовини у розчині.

**3. Молярна концентрація речовини X у розчині** – це відношення кількості речовини  $n(X)$ , що міститься у розчині, до об'єму цього розчину ( $V_{\text{розч.}}$ ). *Молярна концентрація речовини показує скільки моль розчиненої речовини міститься в 1 дм<sup>3</sup> розчину.*

В СІ основною одиницею молярної концентрації є моль/м<sup>3</sup>, а для практичного користування – моль/дм<sup>3</sup> або моль/л. Форма запису:

$$c(X) = \frac{n(X)}{V_{\text{розч.}}} = \frac{m(X)}{M(X) \cdot V_{\text{розч.}}} \quad (1.3)$$

Наприклад, молярна концентрація речовини натрій хлориду (NaCl) у розчині записується наступним чином:

$$c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V_{\text{розч.}}} = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{X}) \cdot V_{\text{розч.}}}, \text{ моль/дм}^3.$$

Розчин з молярною концентрацією розчиненої речовини, яка дорівнює 1 моль/дм<sup>3</sup>, називається одномолярним розчином і позначається 1 М розчин; 0,1 моль/дм<sup>3</sup> називається децимолярним розчином (0,1 М розчин); 0,01 моль/дм<sup>3</sup>, називається сантимольярним (0,01 М розчин); 0,001 моль/дм<sup>3</sup> називається мілімолярним (0,001 М розчин).

Для розчинів і газів дозволяється також позначення молярної концентрації речовини за допомогою квадратних дужок, в яких записується формула відповідної речовини. Наприклад,  $[\text{O}_2] = 0,01 \text{ моль/дм}^3$ .

*Термін «молярна концентрація» повністю охоплює термін «молярність». Тому термін «молярність розчину» не рекомендується використовувати. Наприклад, не можна говорити «молярність розчину сульфатної кислоти (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1М». Не допускається скорочення М для позначення одиниць вимірювання молярної концентрації. Не слід писати  $C(\text{HCl}) = 0,1\text{М}$ .*

**4. Молярна концентрація еквіваленту речовини у розчині або нормальна концентрація** (застаріла назва «еквівалентна» концентрація) — це відношення кількості моль еквівалентів речовини ( $n(f_{\text{екв}}(\text{X})\text{X})$ ) у розчині до об'єму цього розчину ( $V_{\text{розч.}}$ ). Форма запису:

$$c(f_{\text{екв}}(\text{X})\text{X}) = \frac{n(f_{\text{екв}}(\text{X})\text{X})}{V_{\text{розч.}}} = \frac{m(\text{X})}{M(f_{\text{екв}}(\text{X})\text{X}) \cdot V_{\text{розч.}}} \quad (1.4)$$

Одиниця вимірювання молярної концентрації еквівалента є моль/м<sup>3</sup>, а для практичного користування — моль/дм<sup>3</sup> або моль/л.

Наприклад, для сульфатної кислоти молярна концентрація еквівалента записується так:

$$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) \cdot V_{\text{розч.}}}.$$

**Хімічним еквівалентом** речовини називають умовну або реальну частинку цієї речовини, яка в даній кислотно-основній реакції рівноцінна йонові гідрогену або в даній окисно-відновній реакції – одному електрону. Еквівалент речовини змінний і залежить від реакції, в якій ця речовина бере участь.

Число, що показує, яка частка реальної частинки речовини  $X$  еквівалентна одному гідроген (+1) – йону в кислотно-основній реакції або одному електрону в окисно-відновній реакції, називається фактором еквівалентності.

**Фактор еквівалентності** – це величина безрозмірна. У загальному вигляді фактор еквівалентності речовини  $X$  позначається символом  $f_{екв}(X)$ , а форма запису еквівалента речовини  $X$  має такий вигляд:  $f_{екв}(X)X$ .

**Кількість речовини еквівалента** — це кількість речовини (в молях), яку розглядають як таку, що складається з еквівалентів ( $f_{екв}(X)X$ ).

Одиницею кількості речовини еквівалента є моль. Форма запису кількості речовини еквівалента така:  $n(f_{екв}(X)X)$ .

За рекомендаціями ІЮПАК, якщо 1 моль речовини еквівалента  $f_{екв}(X)X$  розчинено в  $1\text{дм}^3$  розчину, то саме цей розчин можна назвати нормальним розчином. Розчин з  $c(f_{екв}(X)X) = 1\text{моль/дм}^3$  називається однонормальним розчином речовини  $X$ , тобто розчин, що містить 1 моль речовини еквівалента в  $1\text{дм}^3$ , з  $c(f_{екв}(X)X) = 0,1\text{моль/дм}^3$  – децинормальним розчином, з  $c(f_{екв}(X)X) = 0,01\text{ моль/дм}^3$  — санинормальним розчином, з  $c(f_{екв}(X)X) = 0,001\text{ моль/дм}^3$  — мілінормальним розчином речовини  $X$ .

Замість позначення одиниці вимірювання кількості речовини еквівалента  $\text{моль/дм}^3$  допускається скорочення  $n$ . або  $N$ .



*Не допускається скорочення  $n$ . або  $N$  для позначення одиниць вимірювання молярної концентрації еквівалента. Не слід писати  $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0,1\text{н.}$  Використання термінів «грам-еквівалент» і «грам-еквівалент/літр» також не допускається!*

Використання термінів «нормальний» розчин і «нормальна» концентрація має сенс лише тоді, коли фактор еквівалентності менший за одиницю. У тих випадках, коли фактор еквівалентності дорівнює одиниці, використовувати термінів «нормальний» розчин і «нормальна» концентрація не рекомендується. Тоді слід користуватися виключно терміном «молярний» розчин і молярна концентрація. Наприклад, для 2М розчину NaOH ( $f_{\text{екв}}=1$ ) не слід використовувати вираз 2н. NaOH. Термін «нормальність» не рекомендується використовувати. Використання розчинів з нормальною концентрацією на практиці чи поняття «нормальний» розчин в розрахунках обов'язково вимагає знань рівнянь відповідних реакцій.

Між молярною концентрацією речовини X у розчині і нормальною концентрацією речовини X у розчині є зв'язок.

$$c(f_{\text{екв}}(X)X) = \frac{c(X)}{f_{\text{екв}}(X)}. \quad (1.5)$$

Наприклад: 1М розчин  $\text{H}_2\text{SO}_4$  відповідає 2н. розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $f_{\text{екв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2}$ ); 0,06М розчин  $\text{H}_2\text{SO}_4$  відповідає 0,12н. розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $f_{\text{екв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2}$ ); 0,1н. розчин  $\text{KMnO}_4$  ( $f_{\text{екв}}(\text{KMnO}_4) = \frac{1}{5}$ ) відповідає 0,02М розчину  $\text{KMnO}_4$ .

**5. Моляльність розчиненої речовини в розчині** (застаріла назва «моляльна концентрація» розчиненої речовини) – це відношення кількості речовини  $n(X)$  (в молях), що міститься у розчині, до маси  $m$  розчинника Y (в кг) цього розчину. Форма запису:

$$b(X/Y) = \frac{n(X)}{m(Y)} = \frac{m(X)}{M(X) \cdot m(Y)}. \quad (1.6)$$

Одиниця вимірювання моль/кг.

Наприклад, молярність HCl у водному розчині записується так:

$$b(\text{HCl}/\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{HCl})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl}) \cdot m(\text{H}_2\text{O})}, \text{ моль/кг.}$$

6. **Титр розчину** – це маса речовини X, яка міститься в одному см<sup>3</sup> розчину. Форма запису:

$$T(X) = \frac{m(X)}{V_{\text{розч.}}} \quad (1.7)$$

Одиниці вимірювання: кг/см<sup>3</sup>, для практичного користування г/см<sup>3</sup>, г/мл (остання – несистемна).

### **Приклади розв'язання типових задач**

**Приклад 1.** У 100 мл водного розчину розчинено 4,9 г сульфатної кислоти. Густина розчину 1,04 г/см<sup>3</sup>. Розрахуйте процентну, молярну і нормальну концентрації кислоти в розчині та його титр.

Дано: $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4,9 \text{ г};$ $V_{\text{розч.}} = 100 \text{ мл} = 0,1 \text{ л};$ $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль};$ $\rho = 1,04 \text{ г/см}^3;$ $f_{\text{екв.}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2}$
---

Розрахувати:  $\omega$ ,  $c(X)$ ,  $c_n$ ,  $T$ .

### **Розв'язання**

1. Розрахуємо відсоткову концентрацію сульфатної кислоти H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> у розчині, згідно з рівнянням (1.1)

Для цього спочатку потрібно визначити масу розчину за формулою

$$\rho = \frac{m_{\text{розч.}}}{V_{\text{розч.}}},$$

де  $\rho$  – густина розчину, г/см<sup>3</sup>.

$$m_{\text{розч.}} = \rho \cdot V_{\text{розч.}} = 1,04 \cdot 100 = 104 \text{ г},$$

отже процентна концентрація буде такою:

$$\omega = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m_{\text{розч.}}} \cdot 100 \% = \frac{4,9 \cdot 100}{104} = 4,7\%$$

2. Розрахуємо молярну концентрацію  $\text{H}_2\text{SO}_4$  у розчині за рівнянням (1.3)

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V_{\text{розч.}}} = \frac{4,9}{98 \cdot 0,1} = 0,5 \text{ моль/л.}$$

3. Розрахуємо нормальну концентрацію  $\text{H}_2\text{SO}_4$  у розчині за рівнянням (1.4).

Оскільки для  $\text{H}_2\text{SO}_4$  фактор еквівалентності  $f_{\text{екв.}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2}$ , то

$$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) \cdot V_{\text{розч.}}} = \frac{4,9}{98 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,1} = 1 \text{ моль-екв./л.}$$

Нормальну концентрацію  $\text{H}_2\text{SO}_4$  у розчині можна розрахувати також за рівнянням (1.5)

$$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{c(\text{H}_2\text{SO}_4)}{f_{\text{екв.}}(X)} = \frac{0,5}{1/2} = 1 \text{ моль-екв/л}$$

4. Розрахуємо титр розчину за рівнянням (1.7):

$$T = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V_{\text{розч.}}} = \frac{4,9}{104} = 0,05 \text{ г/см}^3.$$

**Приклад 2.** Описати приготування 200 мл 0,1 Н розчину хлоридної кислоти з 5%-ного розчину цієї кислоти, густина якого  $1,02 \text{ г/см}^3$ .

### **Розв'язання**

1. Розрахуємо масу наважки  $\text{HCl}$ , яка необхідна для приготування 200 мл 0,1 Н розчину  $\text{HCl}$  із рівняння (1.3):

$$m(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}) \cdot f_{\text{екв.}}(\text{HCl}) \cdot V_{\text{розч.}} = 0,1 \cdot 36,5 \cdot 1 \cdot 0,2 = 0,73 \text{ г.}$$

2. Розрахуємо, яку масу 5%-вого розчину, що містить 0,73 г чистої  $\text{HCl}$ , треба взяти для приготування 200 мл 0,1Н розчину:

100 г розчину – 5 г  $\text{HCl}$

x г розчину – 0,73 г  $\text{HCl}$

$$x = m_{5\%} = \frac{100 \cdot 0,73}{5} = 14,6 \text{ г.}$$

3. Розрахуємо об'єм 5%-вого розчину, який потрібний для приготування 200 мл 0,1 Н розчину:

$$V_{5\%} = \frac{m_{5\%}}{\rho_{5\%}} = \frac{14,6}{1,02} = 14,3 \text{ мл.}$$

Таким чином, для приготування 200 мл 0,1 Н розчину HCl із 5%-ного розчину необхідно: піпеткою (або циліндром) набрати 14,3 мл 5%-ного розчину HCl, обережно через лійку перенести цей об'єм у мірну колбу на 200 мл і довести загальний об'єм розчину до 200 мл дистильованою водою.

### ***Контрольні задачі***

1. Описати приготування 200 мл 0,01 Н розчину  $\text{H}_3\text{PO}_4$  із 2%-ної кислоти ( $\rho = 1,02 \text{ г/см}^3$ ).
2. Описати приготування 200 мл 0,01 Н розчину KOH із 5%-ної кислоти ( $\rho = 1,025 \text{ г/см}^3$ ).
3. До 200 мл 10%-ного розчину нітратної кислоти ( $\rho = 1,045 \text{ г/см}^3$ ) додали 100 мл 5%-ного розчину ( $\rho = 1,025 \text{ г/см}^3$ ). Визначити відсоткову, молярну, нормальну концентрації кислоти в отриманому розчині.
4. Описати приготування 0,2 л 0,01 Н розчину NaOH із 5%-ного розчину ( $\rho = 1,033 \text{ г/см}^3$ ).
5. До 300 мл 2%-ного розчину сульфатної кислоти ( $\rho = 1,01 \text{ г/см}^3$ ) додали 250 мл 5%-ного розчину ( $\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$ ). Розрахуйте відсоткову, молярну, нормальну концентрації речовини в отриманому розчині.
6. Визначити молярну та нормальну концентрації 5%-ного розчину  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ( $\rho = 1,09 \text{ г/см}^3$ ).
7. Описати приготування 0,1 Н розчину NaOH із 5%-ного розчину ( $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ ).
8. Описати приготування 200 мл 0,01 Н розчину хлоридної кислоти із 10%-ного розчину.

9. Описати приготування 500 мл 0,01 Н розчину NaOH. Чому дорівнює відсоткова концентрація NaOH в цьому розчині, якщо густина розчину дорівнює 1,06 г/см<sup>3</sup>.

10. Визначити молярну та нормальну концентрації 2%-ного розчину HNO<sub>3</sub> (ρ = 1,05 г/см<sup>3</sup>).

11. Описати приготування 0,5 М розчину сульфатної кислоти. Розрахувати нормальну і відсоткову концентрації кислоти в отриманому розчині, якщо густина розчину дорівнює 1,04 г/см<sup>3</sup>.

12. До 1 л 2%-ного розчину калій сульфату (ρ = 1,01 г/см<sup>3</sup>) додали 2 л води. Розрахуйте відсоткову, молярну, нормальну концентрації солі в отриманому розчині.

13. У 2 л водного розчину міститься 0,8765 г сульфатної кислоти. Густина розчину 1,04 г/см<sup>3</sup>. Розрахуйте відсоткову, молярну, нормальну концентрації кислоти в цьому розчині.

14. Описати приготування 0,5%-ного розчину кальцій гідроксиду (ρ = 1,06 г/см<sup>3</sup>). Розрахуйте молярну і нормальну концентрації речовини в отриманому розчині.

15. Описати приготування 0,01Н розчину калій гідроксиду (ρ = 1,03 г/см<sup>3</sup>). Розрахуйте відсоткову і нормальну концентрації гідроксиду в цьому розчині.

16. Описати приготування 300 мл 0,1 Н розчину оцтової кислоти із 5%-ної кислоти (ρ = 1,01 г/см<sup>3</sup>).

17. Титр розчину сульфатної кислоти 0,0063 г/см<sup>3</sup>. Розрахуйте для цього розчину молярну, нормальну і відсоткову концентрації кислоти в розчині, якщо густина розчину 1,03 г/см<sup>3</sup>.

18. Яку наважку бури (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> • 10 H<sub>2</sub>O) потрібно взяти для приготування 0,5 дм<sup>3</sup> 0,1 Н розчину. Для чого використовують розчин бури? Напишіть відповідну реакцію.

19. Скільки 2 М розчину HCl потрібно додати до 1 дм<sup>3</sup> 0,15 М розчину HCl, щоб отримати 0,2 М розчин?

20. Розчин оцтової кислоти ( $25 \text{ см}^3$ ) нейтралізували  $20,00 \text{ см}^3$   $0,15 \text{ Н}$  розчином  $\text{KOH}$ . Розрахуйте молярну, нормальну концентрації оцтової кислоти в розчині і титр.

21. Описати приготування  $2 \text{ дм}^3$   $0,01 \text{ Н}$  розчину хлоридної кислоти із 36%-ної кислоти ( $\rho = 1,179 \text{ г/см}^3$ ).

22. Із  $5,3 \text{ г}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  приготували  $1 \text{ дм}^3$  розчину ( $\rho = 1,11 \text{ г/см}^3$ ). Розрахуйте відсоткову, молярну і нормальну концентрації солі в розчині.

23. До  $500 \text{ мл}$  10%-ного розчину хлоридної кислоти ( $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$ ) прилили  $1 \text{ л}$  води. Визначити відсоткову, молярну, нормальну концентрації кислоти в розчині.

24. Титр розчину натрій гідроксиду  $0,0045 \text{ г/см}^3$ . Розрахуйте відсоткову, молярну і нормальну концентрації натрій гідроксиду в розчині.

25. Описати приготування  $250 \text{ мл}$   $0,1 \text{ Н}$  розчину мурашиної кислоти із 5%-ної кислоти ( $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$ ). Розрахуйте для цього розчину відсоткову, молярну і нормальну концентрації кислоти.

26. Яку наважку хімічно чистого натрій хлориду необхідно взяти для визначення точної концентрації  $0,1 \text{ М}$  розчину аргентум нітрату при роботі з бюреткою місткістю  $25 \text{ мл}$ ?

27. Який об'єм 10%-ного розчину натрій карбонату ( $\rho = 1,105 \text{ г/см}^3$ ) потрібно взяти для приготування  $1 \text{ л}$  розчину з нормальною концентрацією солі в розчині  $0,05 \text{ Н}$ ?

28. Яка нормальна концентрація сульфатної кислоти в розчині, якщо на титрування  $0,2156 \text{ г}$  чистого натрій карбонату йде  $22,5 \text{ мл}$  цього розчину?

29. Розрахуйте молярну, нормальну концентрації речовини в 3%-ному розчині амоній гідроксиду ( $\rho = 1,109 \text{ г/см}^3$ ).

30. До  $500 \text{ мл}$  10%-ного розчину магній хлориду ( $\rho = 1,105 \text{ г/см}^3$ ) прилили  $1,5 \text{ л}$  води. Розрахуйте відсоткову, молярну, нормальну концентрації солі в розчині.

## ЗАВДАННЯ 2

### ВОДНЕВИЙ ПОКАЗНИК. ГІДРОЛІЗ СОЛЕЙ

Перед розв'язанням задач цього розділу слід ознайомитися з такими питаннями:

1. Йонний добуток води. Водневий показник розчину.
2. Гідроліз солей.
3. Ступінь і константа гідролізу солей.
4. Залежність ступеня гідролізу солей від сили кислоти і лугу, що утворюють сіль, і від концентрації солі в розчині.
5. Залежність рН розчину солі від констант дисоціації слабких лугів і кислот, концентрації солі.

### Теоретична частина

#### 2.1 Водневий показник

**Водневим показником  $pH$**  називається від'ємний десятковий логарифм молярної концентрації йонів гідрогену  $H^+$

$$pH = -\lg[H^+], \quad (2.1)$$

або

$$[H^+] = 10^{-pH}, \quad (2.2)$$

де  $[H^+]$  – молярна концентрація йонів гідрогену, моль/л.

**Гідроксильним показником  $pOH$**  називається від'ємний десятковий логарифм молярної концентрації  $OH^-$  – йонів

$$pOH = -\lg[OH^-], \quad (2.3)$$

де  $[OH^-]$  – молярна концентрація гідроксид-йонів, моль/л.

Добуток молярних концентрацій йонів водню та йонів гідроксиду у воді називається **йонним добутком води  $K_w$** . При певній температурі  $K_w$  – стала величина. При  $25^\circ C$   $K_{H_2O}$  дорівнює  $10^{-14}$ :

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}. \quad (2.4)$$

Якщо рівняння (2.4) прологарифмувати і обидві частини рівняння помножити на  $-1$ , то отримаємо рівняння

$$pH + pOH = 14. \quad (2.5)$$

Величина  $pH$  кількісно характеризує кислотність і лужність розчину:

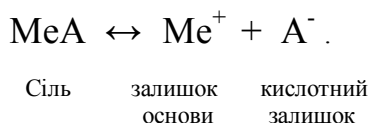
$pH = 7$  – нейтральне середовище;

$pH < 7$  – кисле середовище;

$pH > 7$  – лужне середовище.

## 2.2 Гідроліз солей. Ступінь і константа гідролізу

Водні розчини солей мають неоднакові значення  $pH$ . Наприклад, у розчині  $NaCl$   $pH = 7$ , у розчинах  $CH_3COONa$  і  $Na_2CO_3$   $pH > 7$ , а в розчинах  $NH_4Cl$ ,  $FeSO_4$   $pH < 7$ . Це пов'язано з тим, що більшість солей є сильними електролітами, які у водних розчинах дисоціюють:



Вода, хоча і дуже слабо, теж дисоціює на йони:



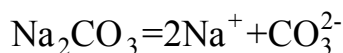
Позитивні йони залишків основ і негативні йони залишків кислот, на які дисоціюють солі, можуть сполучатися з протилежно зарядженими гідроксид-йонами  $OH^-$  або йонами водню  $H^+$ , на які дисоціює вода. Якщо внаслідок цього утворюються малорозчинні основи (основні солі) або малодисоційовані кислоти (кислі солі), рівновага дисоціації води зміщується вправо. У результаті з води вивільняються йони  $H^+$  або  $OH^-$  і реакція стає кислою або лужною. Така реакція має назву "гідроліз солей".

Таким чином, *гідроліз солі* – це обмінна реакція солі з водою, в результаті якої утворюється малодисоційована або малорозчинна сполука і змінюється  $pH$  середовища. Розглянемо гідроліз солей різного складу.

**1 Солі, утворені сильною основою і слабкою кислотою – гідроліз за аніоном ( $pH > 7$ )**



Напишемо рівняння реакцій гідролізу  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – солі, яка утворена сильним лугом  $\text{NaOH}$  і слабкою кислотою  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . У водному розчині сіль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  дисоціює:



Катіони  $\text{Na}^+$  не гідролізуються, а утворені йони  $\text{CO}_3^{2-}$  – гідролізуються. Гідроліз аніону протікає ступінчасто:

### ***I ступінь гідролізу***

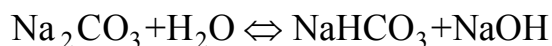
***Скорочена йонна форма рівняння гідролізу:***



***Повна йонно-молекулярна форма рівняння гідролізу:***



***Молекулярна форма рівняння гідролізу:***



### ***II ступінь гідролізу***

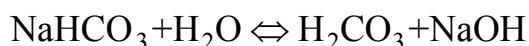
***Скорочена йонна форма рівняння гідролізу:***



***Повна йонно-молекулярна форма рівняння гідролізу:***



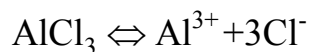
***Молекулярна форма рівняння гідролізу:***



Оскільки в результаті гідролізу утворилися вільні йони  $\text{OH}^-$ , то середовище в розчині  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  буде лужним ( $\text{pH} > 7$ ).

**2 Солі, утворені слабкою основою і сильною кислотою – гідроліз за катіоном**  
**( $pH < 7$ )**

Напишемо рівняння реакцій гідролізу  $AlCl_3$  – солі, яка утворена слабкою основою  $Al(OH)_3$  і сильною кислотою  $HCl$ . У водному розчині сіль дисоціює:



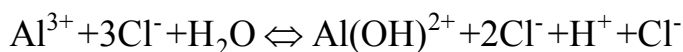
Гідроліз йде по катіону  $Al^{3+}$  за трьома ступенями:

**I ступінь гідролізу**

**Скорочена йонна форма**



**Повна йонно-молекулярна форма**



**Молекулярна форма**

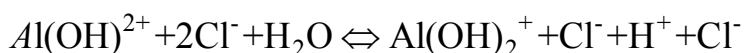


**II ступінь гідролізу**

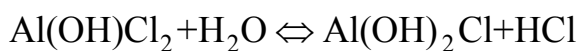
**Скорочена йонна форма**



**Повна йонно-молекулярна форма**

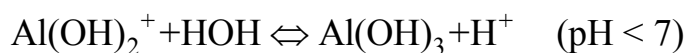


**Молекулярна форма**

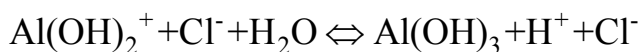


**III ступінь гідролізу**

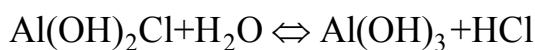
**Скорочена йонна форма**



**Повна йонно-молекулярна форма**



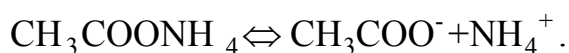
**Молекулярна форма**



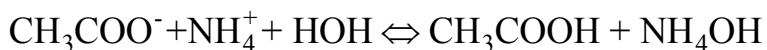
Оскільки в результаті гідролізу утворилися вільні йони  $\text{H}^+$ , то середовище в розчині  $\text{AlCl}_3$  буде кислим ( $\text{pH} < 7$ ).

### ***3 Солі, утворені слабкою основою і слабкою кислотою – гідроліз за катіоном та аніоном***

Напишемо рівняння реакцій гідролізу – солі, яка утворена слабкою основою  $\text{NH}_4\text{OH}$  і слабкою кислотою  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . У водному розчині сіль дисоціює:



Гідролізу підлягають і катіон  $\text{NH}_4^+$ , і аніон  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ :



У результаті гідролізу утворилися два слабких електроліти. Реакція розчину залежить від співвідношення констант дисоціації продуктів гідролізу. Оскільки константа дисоціації  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $K_d = 6,3 \cdot 10^{-5}$ ) не суттєво, але більша за константу дисоціації  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ( $K_d = 1,74 \cdot 10^{-5}$ ), то середовище буде слабо лужним.

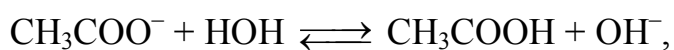
Кількісно гідроліз оцінюють за ступенем і константою гідролізу.

**Ступінь гідролізу  $h$**  показує частку гідролізованих молекул і визначається відношенням числа молів солі, що піддалися гідролізу, до загального числа молів солі. Ступінь гідролізу залежить від природи солі, її концентрації і температури розчину. Із розбавленням і підвищенням температури розчину ступінь гідролізу солі зростає.

Повніше характеризує гідроліз константа гідролізу ( $K_r$ ), яка є константою рівноваги відносно реакції гідролізу.

Розглянемо як записуються константи гідролізу солей різного складу.

Наприклад, для солі утвореної *слабкою кислотою* і *сильною основою*  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , гідроліз якої відбувається за рівнянням:



згідно із законом дії мас, можна записати константу гідролізу  $K_r$  (концентрацією води нехтують) у такому вигляді:

$$K_r = \frac{[\text{OH}^-][\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]},$$

Якщо помножити чисельник і знаменник на  $[\text{H}^+]$ , то отримаємо рівняння:

$$K_r = \frac{[\text{OH}^-][\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}.$$

Очевидно, що оскільки  $[\text{OH}^-][\text{H}^+] = K_w$ , то остаточний вираз для  $K_r$  солі буде

$$K_r = \frac{K_w}{K_d(\text{CH}_3\text{COOH})}.$$

Для солі, утвореної *слабкою основою* і *сильною кислотою*, наприклад  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , рівняння для  $K_r$  має вигляд:

$$K_r = \frac{K_w}{K_d(\text{NH}_4\text{OH})}.$$

Для солі, утвореної *слабкою основою* і *слабкою кислотою*, наприклад  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  рівняння для  $K_r$  має вигляд:

$$K_r = \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{K_d(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot K_d(\text{NH}_4\text{OH})}.$$

Ступінь гідролізу  $h$  і константа гідролізу  $K_r$  пов'язані між собою рівнянням:

$$h = \sqrt{\frac{K_r}{c(X)}}$$

### **Приклади розв'язання типових задач**

**Приклад 1.** Обчисліть концентрацію йонів водню і значення рН в 0,3М розчині ціанідної кислоти, якщо за температури 25<sup>0</sup> С константа дисоціації її дорівнює  $K_d = 5,0 \cdot 10^{-10}$  моль/л.

**Розв'язання.** Електролітична дисоціація ціанідної кислоти перебігає за рівнянням  $\text{HCN} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CN}^-$ . Ступінь дисоціації кислоти, як слабого електроліту, розраховується за рівнянням:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_d}{c(\text{HCN})}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-10}}{0,3}} = 4,1 \cdot 10^{-5}.$$

Концентрація йонів гідрогену в розчині слабкої ціанідної кислоти

$$[\text{H}^+] = \alpha \cdot c(\text{HCN}) = 4,1 \cdot 10^{-5} \cdot 0,3 = 1,23 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Значення водневого показника

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 1,23 \cdot 10^{-5} = 5 - \lg 1,23 = 4,91.$$

**Приклад 2.** До  $30 \text{ см}^3$  води долили  $5 \text{ см}^3$   $3 \text{ М}$  розчину калій нітриту. Обчислити ступінь гідролізу солі при температурі  $25^\circ \text{C}$  і  $\text{pH}$  розчину.

**Розв'язання.** Для розв'язання задачі потрібно знати значення константи дисоціації  $K_d$  нітритної кислоти  $\text{HNO}_2$  і йонний добуток води  $K_w$ :

$$K_d(\text{HNO}_2) = 5,1 \cdot 10^{-4}; K_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \cdot 10^{-14} \text{ (див. дод. А, С. 57).}$$

1. Запишемо рівняння гідролізу солі  $\text{KNO}_2$  (сіль утворена сильним лугом і слабкою кислотою – гідроліз за аніоном):



2. Розрахуємо молярну концентрацію солі  $c_2(\text{KNO}_2)$  після розбавлення розчину. Об'єм розчину нітриту калію до змішування з водою був  $V_1 = 5 \text{ см}^3$ , а після змішування став  $V_2 = 5 + 30 = 35 \text{ см}^3$ . Тоді

$$\frac{c_1(\text{KNO}_2)}{c_2(\text{KNO}_2)} = \frac{V_2(\text{KNO}_2)}{V_1(\text{KNO}_2)};$$

$$c_2(\text{KNO}_2) = \frac{c_1(\text{KNO}_2) \cdot V_1(\text{KNO}_2)}{V_2(\text{KNO}_2)} = \frac{3 \cdot 5}{35} = 0,4286 \text{ моль/л.}$$

3. Розрахуємо ступінь гідролізу солі  $KNO_2$  ( $h$ ).

Рівняння для константи гідролізу солі  $KNO_2$ , що утворена слабкою кислотою, має вигляд:

$$K_r = \frac{K_w}{K_d(HNO_2)}, \quad (2)$$

а для ступеню гідролізу солі:

$$h = \sqrt{\frac{K_r}{c_2(KNO_2)}}. \quad (3)$$

Тоді, підставляючи (2) в рівняння (3) розрахуємо  $h$ :

$$h = \sqrt{\frac{K_w}{K_d \cdot c_2(KNO_2)}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-14}}{5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,4286}} = 6,764 \cdot 10^{-6}, \text{ або } 6,764 \cdot 10^{-4} \%$$

4. Розрахуємо рН водного розчину калій нітриту.

Для розрахунку рН потрібно знати, що в результаті гідролізу кожного аніону  $NO_2^-$  утворюється 1 аніон  $OH^-$  (див. Рівняння (1)). Якщо вихідна концентрація аніонів  $NO_2^-$   $c_2$  моль/л, а гідролізується тільки частина  $h$  цих аніонів, то концентрація аніонів  $OH^-$  становитиме  $hC_2$  моль/л. Таким чином

$$[OH^-] = hc_2 = 6,764 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4286 = 2,899 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л,}$$

$$pOH = -\lg[OH^-] = -\lg 2,899 \cdot 10^{-6} = 5,54,$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 5,54 = 8,46.$$

### **Контрольні задачі**

*Значення констант дисоціації  $K_d$  слабких електролітів наведені в Додатку А наприкінці методичних вказівок, С. 56.*

31. У 500 мл розчину міститься 2,52 г  $Na_2CO_3$ . Визначити рН розчину і ступінь гідролізу солі за першим ступенем.

32. Розрахуйте рН і ступінь гідролізу в 0,05 М розчині  $Na_2C_2O_4$ . Чому буде дорівнювати рН, якщо розчин розбавити водою в 5 разів?

33. До 100 мл 0,2 М оцтової кислоти додали 100 мл 0,2 М гідроксиду калію. Розрахуйте рН і ступінь гідролізу солі.
34. До 250 мл 0,4 М HCN додали 250 мл 0,4 М NaOH. Розрахуйте рН і ступінь гідролізу солі.
35. Скільки грамів  $\text{CH}_3\text{COONa}$  потрібно додати до 500 мл води, щоб одержати розчин з рН 9?
36. Скільки грамів  $\text{Na}_2\text{S}$  знаходиться в 100 мл розчину, якщо рН його дорівнює 13? Обчислити ступінь гідролізу солі.
37. Скільки грамів KCN знаходиться в 10 мл розчину, якщо його рН дорівнює 11,0?
38. Змішали 40 мл 0,3 М оцтової кислоти і 20 мл 0,15 М калій гідроксиду. Розрахуйте рН розчину і ступінь гідролізу солі.
39. Розрахуйте рН розчину, якщо ступінь гідролізу в 0,05 М розчині  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  дорівнює 5 %.
40. Розрахуйте рН розчину, якщо ступінь гідролізу в 0,1 М розчині  $\text{KNO}_2$  дорівнює 3 %.
41. Розрахуйте рН розчину і ступінь гідролізу солі  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , якщо концентрація її дорівнює 0,2 моль/л.
42. При якій концентрації (моль/л)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  розчин має рН 5?
43. Скільки грамів  $\text{NH}_4\text{Cl}$  міститься в 1 л розчині, якщо його рН 6?
44. Розрахуйте рН і ступінь гідролізу в 0,01 М розчині  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ .
45. Розрахуйте рН і ступінь гідролізу в 0,02 М розчині  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ .
46. Розрахуйте рН і ступінь гідролізу в 0,03 М розчині  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ .
47. Розрахуйте другу константу дисоціації вугільної кислоти, якщо 0,1 М розчин  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  має рН 12.
48. Який колір матиме 0,1 М розчин карбонату натрію, якщо до нього долити фенолфталеїн? Відповідь підтвердити розрахунком.
49. В 1 л розчину міститься 0,1 моль  $\text{NH}_4\text{Cl}$  і  $10^{-4}$  моль HCl. Визначити ступінь гідролізу солі.

50. Який колір матиме 0,2 М розчин  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , якщо до нього долити метиловий жовтогарячий? Відповідь підтвердити розрахунками.
51. Який розчин матиме більш лужне середовище: 0,01М розчин  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  чи 0,1М розчин  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ? Відповідь підтвердити розрахунками.
52. Який розчин матиме більш низьке значення рН: 0,1 М розчин  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  чи 0,1 М розчин  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ? Відповідь підтвердити розрахунками.
53. Який розчин матиме більше значення рН: 0,1 М розчин  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$  чи 0,1 М розчин  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ? Відповідь підтвердити розрахунками.
54. Яке середовище (кисле, нейтральне чи лужне) має суміш водних розчинів солей: 0,1 М розчин  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  і 0,1 М розчин  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ? Відповідь підтвердити розрахунками.
55. Розрахуйте рН і ступінь гідролізу солі в 0,05 М розчині  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . Чому дорівнюватиме рН, якщо розчин розбавити водою в 10 разів?
56. У 250 мл розчину міститься 0,535 г  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Розрахуйте рН і ступінь гідролізу солі.
57. Яку наважку нітрату амонію потрібно розчинити в 150  $\text{см}^3$  розчину, щоб рН дорівнювало 5?
58. Наважку амоній хлориду 0,1 г розчинили в 250  $\text{см}^3$  водного розчину. Розрахуйте рН.
59. В якому об'ємі потрібно розчинити 0,03 г натрій ацетату 0,03 г, щоб отримати розчин з рН=8?
60. Який розчин матиме більш лужне середовище: 0,1 Н розчин  $\text{NH}_4\text{Cl}$  чи 0,1 Н розчин  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ? Відповідь підтвердити розрахунками.



### ЗАВДАННЯ 3

#### МЕТОД НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ – КИСЛОТНО-ОСНОВНЕ ТИТРУВАННЯ

Перед розв'язанням задач цього розділу слід ознайомитися з такими питаннями:

1. Яка реакція лежить в основі методу нейтралізації та які речовини можна визначати цим методом?
2. Як визначаються молярні маси еквівалентів кислот, основ і солей у реакціях методу нейтралізації?
3. Що таке стандартний, робочий, титрований розчини? Які концентрації робочих розчинів використовують у методі нейтралізації?
4. Що таке точка еквівалентності, у якій ділянці шкали рН лежить вона при титруванні: а) сильної кислоти сильним лугом; б) слабкої кислоти сильним лугом; в) слабкої основи сильною кислотою ?
5. Що таке криві титрування та стрибок титрування? Які фактори впливають на положення точки еквівалентності, на величину і положення стрибка титрування?
6. Які речовини називаються кислотно-основними індикаторами. Які їх головні характеристики?
7. Що таке показник титрування рТ і інтервал переходу індикатора?
8. Як здійснюється вибір індикатори при титруванні методом нейтралізації?
9. Що таке титрування: а) пряме; б) зворотне; в) по заміщенню? У яких випадках кожен з цих різновидів титрування використовується в методі нейтралізації?
10. Що таке кислотність і лужність води і як їх визначають методом нейтралізації?
11. Що таке карбонатна твердість води? Якими солями вона зумовлена? Як експериментально визначається карбонатна твердість води?
12. В яких формах існує карбонатна кислота у воді? Як визначають її різні форми?

### **Приклади розв'язання типових задач**

**Приклад 1.** На титрування 20 см<sup>3</sup> 0,02 Н розчину HCl витрачено 15 см<sup>3</sup> розчину NaOH. Визначити нормальну концентрацію NaOH в розчині.

**Розв'язання.** Так як речовини реагують між собою в еквівалентних кількостях, то кількість HCl у точці еквівалентності повинна дорівнювати кількості NaOH, тобто

$$n_{\text{екв.}}(\text{HCl}) = n_{\text{екв.}}(\text{NaOH});$$

$$n_{\text{екв.}}(\text{HCl}) = C_{\text{н}}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}); \quad n_{\text{екв.}}(\text{NaOH}) = C_{\text{н}}(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH});$$

тоді

$$C_{\text{н}}(\text{NaOH}) = \frac{C_{\text{н}}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{V(\text{NaOH})} = \frac{0,02 \cdot 20}{15} = 0,02657 \text{ моль/л.}$$

**Приклад 2.** Водневий показник води дорівнює 10. Які показники якості води можна визначити методом нейтралізації?

### **Розв'язання**

При рН=10 можна визначити:

1. **Лужність вільну** ( $L_{\text{в}}$ ) (рН від 14 до 9) – титрування проби води 0,1 Н розчином HCl у присутності фенолфталеїну.

2. **Лужність загальну** ( $L_{\text{заг}}$ ) (рН від 14 до 4) – титрування проби води 0,1 Н розчином HCl у присутності метилоранжу.

Лужність розраховують за формулою

$$L = \frac{C_{\text{н}}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot 1000}{V_{\text{H}_2\text{O}}}, \text{ ммоль-екв/л.}$$

3. **Форми карбонатної кислоти:**  $\text{CO}_3^{2-}$  і  $\text{HCO}_3^-$ .

Вміст  $\text{CO}_3^{2-}$  дорівнює лужності вільній (ммоль-екв/л). Для визначення  $\text{CO}_3^{2-}$  в мг/л необхідно  $L_{\text{в}} \cdot M_{\text{е}}(\text{CO}_3^{2-}) = L_{\text{в}} \cdot 60$ .

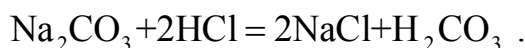
Вміст  $\text{HCO}_3^-$  дорівнює різниці  $(L_{\text{заг.}} - L_{\text{в}})$  у ммоль-екв/л. У мг/л вміст  $\text{HCO}_3^-$  розраховують як  $(L_{\text{заг.}} - L_{\text{в}}) \cdot M_{\text{e}}(\text{HCO}_3^-) = (L_{\text{заг.}} - L_{\text{в}}) \cdot 61$ .

4. **Твердість карбонатну ( $T_{\text{КАРБ}}$ )**, яка дорівнює різниці  $(L_{\text{заг.}} - L_{\text{в}})$  в ммоль-екв/л.

**Приклад 3.** Розрахуйте масу  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , якщо на титрування солі з утворенням  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , пішло 22,35 мл 0,2113 М розчину  $\text{HCl}$ .

### ***Розв'язання***

Рівняння реакції між содою і хлоридною кислотою наступне:



У точці еквівалентності має місце співвідношення:

$$n_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n_{\text{екв.}}(\text{HCl});$$

$$n_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3)}; \quad n_{\text{екв.}}(\text{HCl}) = C_{\text{H}}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl});$$

Отже тоді

$$\frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = C_{\text{H}}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}).$$

Виходячи з того, що  $f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/2$ , масу соди можна обчислити таким чином:

$$\begin{aligned} m(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= C_{\text{H}}(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \\ &= 0,2113 \cdot 22,35 \cdot 10^{-3} \cdot 106 \cdot 1/2 = 0,2503 \text{ г.} \end{aligned}$$

### ***Контрольні задачі***

*Значення показників якості води наведені в Додатку Б наприкінці методичних вказівок, С.57*

61. Розчин містить 1,4320 г калій гідроксиду в 0,5 л. Скільки мілілітрів цього розчину піде на титрування 20 мл 0,1 Н розчину хлоридної кислоти? Який індикатор потрібно вибрати для титрування?

62. Наважку натрій карбонату вагою 1,3540 г розчинили в мірній колбі на 250 мл, об'єм розчину довели до позначки дистильованою водою. На титрування 20 мл цього розчину пішло 18,8 мл хлоридної кислоти. Яка концентрація розчину хлоридної кислоти і який індикатор для цього титрування необхідно використати?

63. На титрування розчину, що досліджують, пішло 18,5 мл 0,1 Н розчину натрій гідроксиду. Скільки грамів гідроксиду пішло на реакцію з речовиною, що визначають?

64. Скільки мілілітрів 20 %-ної хлоридної кислоти з густиною  $\rho=1,05 \text{ г/см}^3$  потрібно взяти, щоб приготувати 250 мл 0,1 Н розчину? Який стандартний розчин і який індикатор потрібно взяти, щоб визначити точну концентрацію розчину? Наведіть рівняння реакції.

65. Розрахуйте нормальну концентрацію розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$ , якщо рН розчину 11, а константа дисоціації  $\text{NH}_4\text{OH}$  дорівнює  $1,75 \cdot 10^{-5}$ .

66. Які показники якості води можна визначити, якщо на титрування 100 мл води з фенолфталеїном витрачено 5 мл 0,1Н розчину  $\text{HCl}$ , а на титрування 100 мл води в присутності метилоранжу 8 мл 0,1 Н розчину  $\text{HCl}$ . Розрахуйте.

67. Розрахуйте рН розчину, отриманого при змішуванні 20 мл 0,2 Н розчину  $\text{HCl}$  і 18 мл 0,2 Н розчину  $\text{NaOH}$ . Яке забарвлення матиме цей розчин, якщо до нього додати фенолфталеїн.

68. Розрахуйте наважку щавлевої кислоти  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , необхідну для приготування 200 мл 0,1 Н розчину. Розрахуйте нормальну концентрацію  $\text{NaOH}$  у розчині, якщо на титрування 10 мл 0,1 Н розчину щавлевої кислоти витрачено 10,8 мл розчину  $\text{NaOH}$ . Який індикатор слід використовувати при титруванні?

69. Як приготувати 500 мл 0,1 Н розчину натрій карбонату? Якої концентрації була хлоридна кислота, якщо на титрування 10 мл розчину натрій карбонату пішло 9,8 мл розчину хлоридної кислоти?

70. Скільки грамів натрій гідроксиду треба взяти для приготування

2 л 0,2 Н розчину? Як визначити точну концентрацію цього розчину? Скільки мілілітрів 0,1 Н розчину хлоридної кислоти піде на повну нейтралізацію NaOH?

71. Розрахуйте наважку  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , необхідну для приготування 250 мл 0,1Н розчину. Яка молярна концентрація цього розчину? Скільки мілілітрів 0,1 Н розчину хлоридної кислоти піде на повну нейтралізацію  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ?

72. Як приготувати 2 л 0,1 Н розчину хлоридної кислоти, використовуючи 38%-ний її розчин, густина якого 1,18 г/мл? Розрахуйте нормальну концентрацію NaOH у розчині, якщо на титрування 10 мл 0,1 Н розчину хлоридної кислоти витрачено 11,4 мл розчину NaOH. Який індикатор слід використовувати при титруванні?

73. Визначити, які показники якості води можна знайти методом нейтралізації, якщо рН води дорівнює 4,8.

74. Яку лужність води і форми карбонатної кислоти можна розрахувати, якщо на титрування 100 мл води з індикатором метилоранжем пішло 6,5 мл 0,1Н розчину хлоридної кислоти?

75. На титрування 100 мл води з фенолфталеїном пішло 2,2 мл 0,1Н розчину HCl, а з метилоранжем – 3,4 мл 0,1 Н розчину HCl. Які показники якості води можна визначити за цими даними? Розрахуйте ці показники.

76. Чому дорівнює карбонатна твердість води, якщо на титрування 100 мл її з метилоранжем пішло 6,2 мл 0,1 Н розчину хлоридної кислоти? Скільки міліграмів гідрокарбонат-йонів міститься в пробі води?

77. У досліджуваній воді індикатор метилоранж забарвився в червоний колір. На титрування 100 мл цієї води в присутності метилоранжу пішло 4,2 мл 0,1Н розчину натрій гідроксиду. Розрахуйте за цими даними показники якості води, які можна визначити методом нейтралізації.

78. На титрування 100 мл природної води з індикатором фенолфталеїном до появи рожевого забарвлення витрачено 4 мл 0,1 Н розчину NaOH. Скільки вільної карбонатної кислоти (мг/л) міститься в досліджуваній воді?

79. Наважку натрій карбонату вагою 0,5300 г розчинили в мірній колбі на 500 мл. На титрування 25 мл цього розчину було витрачено 24,5 мл розчину хлоридної кислоти в присутності метилоранжу. Розрахуйте нормальні концентрації розчинів натрій карбонату і хлоридної кислоти.

80. Розчин оцтової кислоти ( $25 \text{ см}^3$ ) нейтралізували  $20 \text{ см}^3$  0,15 М розчином NaOH. Розрахуйте молярну концентрацію і масу оцтової кислоти.

81. При визначенні карбонатів і гідрокарбонатів на титрування 100 мл досліджуваної води з індикатором фенолфталеїном витрачено 2,8 мл 0,1 Н розчину HCl, а з індикатором – метилоранжем – 3,2 мл 0,1 Н розчину HCl. Скільки міліграмів карбонат і гідрокарбонат-йонів міститься в 1 л води?

82. На титрування 100 мл досліджуваної природної води з індикатором метилоранжем до переходу забарвлення від жовтого до жовтогарячого пішло 4,2 мл 0,1 Н розчину HCl. Які показники якості води можна визначити з цих даних методом нейтралізації? Розрахуйте.

83. На титрування 100 мл досліджуваної природної води з індикатором фенолфталеїном до появи рожевого забарвлення пішло 2,6 мл 0,1 Н розчину NaOH, а при титруванні 100 мл цієї ж води з індикатором метилоранжем до переходу жовтого забарвлення в жовтогаряче пішло 2,6 мл 0,1 Н розчину HCl. Які показники якості води можна розрахувати за результатами титрування? Як пояснити збіг цих результатів?

84. Визначити, скільки % сульфатної кислоти містить зразок, якщо його наважка 1,5678 г була розчинена в мірній колбі на 200 мл. На нейтралізацію 20 мл цього розчину було витрачено 17,6 мл 0,1Н розчину NaOH.

85. Розрахуйте концентрацію гідрокарбонат-йонів у воді, якщо рН води 10, концентрація карбонат-йонів дорівнює 4 моль/л, а константа дисоціації вугільної кислоти за другим ступенем  $K_{д(II)} = 5,6 \cdot 10^{-11}$ .

86. Розрахуйте масу нітратної кислоти в  $10 \text{ см}^3$  її розчину, якщо на титрування цього розчину витрачено  $12,5 \text{ см}^3$  1,01 М розчину NaOH.

87. Розрахуйте масову частку  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  у технічній соді, якщо наважка технічної соди дорівнює 0,2005 г, а на її титрування пішло  $20 \text{ см}^3$  0,1 Н розчину хлоридної кислоти.

88. Наважку технічної нітратної кислоти масою 1,0100 г перевели в розчин, який містив  $25 \text{ см}^3$  0,5 М розчину NaOH. Надлишок NaOH відтитрували  $10,5 \text{ см}^3$  0,1 М розчином HCl. Розрахуйте масову частку нітратної кислоти в наважці.

89. До розчину, що містить 0,7500 г  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , додали 25,00 мл розчину KOH, а потім надлишок останнього відтитрували 4,02 мл 0,125 Н розчином HCl. Розрахуйте нормальну концентрацію розчину KOH.

90. pH води дорівнює 5,6. Які показники якості води та форми карбонатної кислоти можна визначити методом нейтралізації.

#### ЗАДАНИЕ 4

##### МЕТОД КОМПЛЕКСОНОМЕТРИЧНОГО ТИТРУВАННЯ. ТРИЛОНОМЕТРИЯ

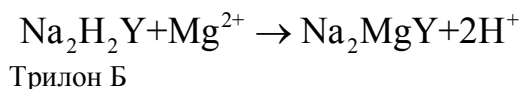
Перед розв'язанням задач слід ознайомитися з такими питаннями:

1. Яка сутність методів комплексонометричного аналізу?
2. Який вплив має pH на перебіг реакції під час комплексонометричного титрування?
3. Які індикатори використовуються в комплексонометричному методі аналізу?
4. Метод трилонометрії. Робочі розчини методу, їх приготування та стандартизація.
5. Які показники якості води можна визначати трилонометричним методом?

##### *Приклади розв'язання типових задач*

**Приклад 1.** Розрахуйте масову частку магнію в сплаві, якщо після розчинення 0,5 г сплаву і видалення заважаючих елементів, об'єм розчину довели до  $100 \text{ см}^3$  і на титрування  $20 \text{ см}^3$  цього розчину витратили  $12,06 \text{ см}^3$  0,01 М розчину трилону Б.

**Розв'язання.** Трилон Б титрує йони  $\text{Mg}^{2+}$  з утворенням безбарвної комплексної сполуки:



1. Розрахуємо нормальну концентрацію магнію в розчині. У точці еквівалентності  $n_{\text{екв.}}(\text{Mg}^{2+}) = n_{\text{екв.}}(\text{Тр.Б})$

$$c_{\text{H}}(\text{Mg}^{2+}) \cdot V(\text{Mg}^{2+}) = c_{\text{H}}(\text{Тр.Б}) \cdot V(\text{Тр.Б}).$$

Враховуючи, що  $f_{\text{екв.}}$  трилону Б дорівнює  $\frac{1}{2}$ , а нормальна концентрація розчину трилону Б розраховується, як

$$c_{\text{H}} = C(\text{Тр.Б}) / f_{\text{екв.}}(\text{Тр.Б}) = 0,01 / 0,5 = 0,02 \text{ Н},$$

тоді

$$c_{\text{H}}(\text{Mg}^{2+}) = \frac{c_{\text{H}}(\text{Тр.Б}) \cdot V(\text{Тр.Б})}{V(\text{Mg}^{2+})} = \frac{0,02 \cdot 12,06}{20,00} = 0,0121 \text{ моль-екв/л.}$$

2. Розрахуємо масу магнію в  $100 \text{ см}^3$  вихідного розчину

$$(f_{\text{екв.}}(\text{Mg}^{2+})) = 1/2; \quad M_{\text{е}}(\text{Mg}^{2+}) = M \cdot f_{\text{екв.}}(\text{Mg}^{2+}) = 23,3 \cdot 1/2 = 12,15 \text{ г/моль-екв.}:$$

$$c_{\text{H}}(\text{Mg}^{2+}) = \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{M_{\text{е}}(\text{Mg}^{2+}) \cdot V} \Rightarrow m(\text{Mg}^{2+}) = c_{\text{H}}(\text{Mg}) \cdot M_{\text{е}}(\text{Mg}^{2+}) \cdot V =$$

$$= 0,0121 \cdot 12,15 \cdot 0,1 = 0,0147 \text{ г.}$$

3. Розрахуємо масову частку магнію в сплаві:

$$\omega(\text{Mg}^{2+}) = \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{m(\text{сплава})} = \frac{0,0147}{0,5000} \cdot 100\% = 2,94\%.$$

**Приклад 2.** Для усунення твердості води до  $100 \text{ л}$  води додали  $12 \text{ г}$  гашеного вапна і  $9,5 \text{ г}$  кальцинованої соди. Розрахуйте, яка твердість води була усунена.



**Розв'язання.** Твердість води зумовлена наявністю у воді добре розчинних солей кальцію і магнію. Вона показує, скільки ммоль-екв солей кальцію і магнію міститься в 1 л води:

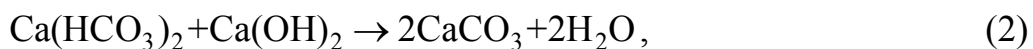
$$T = \frac{n_{\text{екв.}}(\text{соли}) \cdot 1000}{V_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{m(\text{соли}) \cdot 1000}{M_{\text{е}} \cdot V_{\text{H}_2\text{O}}}, \text{ ммоль-екв/л.} \quad (1)$$

Розрізняють карбонатну (тимчасову) і некарбонатну (постійну) твердість води.

**Карбонатна твердість** води зумовлена наявністю гідрокарбонатів кальцію і магнію –  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  і  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

**Некарбонатна твердість** води зумовлена солями кальцію і магнію всіх інших кислот, окрім карбонатної (наприклад, хлоридами, сульфатами, нітратами тощо).

Для усунення карбонатної твердості води застосовують **гашене вапно**  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (рівняння 2 и 3). Цей реагент також переводить постійну магнієву твердість у постійну кальцієву твердість (рівняння 4):

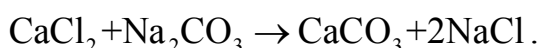


Очевидно, що  $n_{\text{екв.}}(\text{гідрокарбонатів}) = n_{\text{екв.}}(\text{Ca}(\text{OH})_2)$ . Тоді, беручи до уваги те, що  $f_{\text{екв.}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 1/2$ , а  $M_{\text{е}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = M/2 = 74/2 = 37$  г/моль-екв, рівняння (1) набуває вигляду:

$$T_1 = \frac{n_{\text{екв.}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot 1000}{V_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{m(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot 1000}{M_{\text{е}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot V_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{12 \cdot 1000}{37 \cdot 100} = 3,2 \text{ ммоль-екв/л},$$

де  $T_1$  – карбонатна (кальцієва і магнієва) твердість води, ммоль-екв/л.

Для усунення некарбонатної (постійної) твердості застосовують **кальціновану соду** ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ):



Очевидно, що  $n_{\text{екв.}}(\text{некарб.}) = n_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ , тоді

$$T_2 = \frac{n_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot 1000}{V_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot 1000}{M_{\text{e}} \cdot V_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{9,5 \cdot 1000}{53 \cdot 100} = 1,8 \text{ ммоль-екв / л},$$

де  $T_2$  – некарбонатна твердість, ммоль-екв/л;  $M_{\text{e}}(\text{Na}_2\text{CO}_3)$  – молярна маса еквівалента  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , що дорівнює  $M \cdot f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \cdot 1/2 = 53$  г/моль-екв.

Отже загальна твердість води буде дорівнювати:

$$T_{\text{заг.}} = T_1 + T_2 = 3,2 + 1,8 = 5,0 \text{ ммоль-екв/л.}$$

Таким чином, вапняно-содовим методом було усунено 5 одиниць твердості води.

**Приклад 3.** На титрування 50 мл проби води в присутності *exh* було витрачено 6 мл 0,05 Н розчину трилону Б, а на титрування 50 мл води в присутності мурексиду – 4,5 мл трилону Б. Які показники якості води можна визначити за цими даними? Чи придатна вода для питних цілей?

### **Розв'язання**

За цими даними можна визначити:

1. **Загальну твердість води ( $T_{\text{заг.}}$ )**, яка визначається титруванням проби води трилоном Б в присутності *exh* за  $\text{pH}=9,2$  і розраховується як

$$T_{\text{заг.}} = \frac{c_{\text{н}}(\text{Тр.Б}) \cdot V(\text{Тр.Б}) \cdot 1000}{V(\text{H}_2\text{O})} = \frac{6 \cdot 0,05 \cdot 1000}{50} = 6 \text{ ммоль-екв/л.}$$

2. **Кальцієву твердість ( $T_{\text{Ca}^{2+}}$ )**, яка визначається титруванням проби води трилоном Б в присутності мурексиду за  $\text{pH}=12$ , і розраховується як

$$T_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{c_{\text{н}}(\text{Тр.Б}) \cdot V(\text{Тр.Б}) \cdot 1000}{V(\text{H}_2\text{O})} = \frac{4,5 \cdot 0,05 \cdot 1000}{50} = 4,5 \text{ ммоль-екв/л.}$$

3. **Магнієву твердість ( $T_{\text{Mg}^{2+}}$ )**, яка розраховується

$$T_{\text{Mg}^{2+}} = T_{\text{заг.}} - T_{\text{Ca}^{2+}} = 6 - 4,5 = 1,5 \text{ ммоль-екв/л.}$$

4. **Вміст йонів кальцію** (мг/л), беручи до уваги, що  $f_{\text{екв.}}(\text{Ca}^{2+}) = 1/2$ , а  $M_{\text{e}}(\text{Ca}^{2+}) = M/2 = 40,08/2 = 20,04$  г/моль-екв, розраховують за формулою

$$X(\text{Ca}^{2+}) = T_{\text{Ca}^{2+}} \cdot M_{\text{e}}(\text{Ca}^{2+}) = 4,5 \cdot 20,04 = 90,18 \text{ мг/л.}$$

5. **Вміст йонів магнію** (мг/л), беручи до уваги, що  $f_{\text{екв.}}(\text{Mg}^{2+}) = 1/2$ , а  $M_{\text{e}}(\text{Mg}^{2+}) = M/2 = 24,3/2 = 12,15$  г/моль-екв, розраховують за формулою

$$X(\text{Mg}^{2+}) = T_{\text{Mg}^{2+}} \cdot M_{\text{e}}(\text{Mg}^{2+}) = 1,5 \cdot 12,15 = 18,2 \text{ мг/л.}$$

Згідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 вода придатна для питних потреб.

**Примітка.** Згідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 величина загальної твердості води нормується двічі

– **як фізико-хімічний показник:** загальна твердість повинна бути  $\leq 7$  ммоль-екв/л;

води має бути в межах 1,5–7 ммоль-екв/л.

Згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10

• вміст йонів кальцію для питної води повинен бути в межах 25–75 – **як показник фізіологічної повноцінності води:** загальна твердість мг/л (показник фізіологічної повноцінності питної води);

• вміст йонів магнію для питної води повинен бути в межах 10–50 мг/л (показник фізіологічної повноцінності питної води).

### **Контрольні задачі**

Значення показників якості води наведені в таблиці Додатку В

наприкінці методичних вказівок, с.60

91. Розрахуйте масу алюмінію, якщо до розчину, що містить алюміній, додали 25 см<sup>3</sup> 0,04 М розчину трилону Б, надлишок якого відтитрували 5 см<sup>3</sup> 0,035 М розчином сульфату цинку.

92. Концентрація робочого розчину трилону Б була встановлена за розчином, що містить в 1 л 24 г  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . На титрування 10 мл цього розчину пішло 10,3 мл розчину трилону Б. Розрахуйте нормальну концентрацію трилону Б.

93. Розрахуйте загальну твердість води (ммоль-екв/л), якщо на титрування 100 мл води при рН=9,2 в присутності ехч до синього забарвлення пішло 19,20 мл 0,1012 Н розчину трилону Б.

94. Розрахуйте концентрацію цирконію в розчині, якщо після відповідної обробки, що усуває заважаючий вплив інших металів, на титрування 20,00 мл цього розчину з *exch* до синього забарвлення пішло 10,5 мл 0,1 Н розчину трилону Б.

95. Розрахуйте концентрацію йонів кальцію і магнію (ммоль-екв/л і мг/л) у розчині за наступними даними: а) для визначення сумарної кількості йонів кальцію та магнію 20,00 мл аналізованого розчину відтитрували 18,15 мл 0,112 Н розчином трилону Б в присутності *exch* ; б) для визначення вмісту йонів кальцію до 20,00 мл розчину додали 19,00 мл 0,1120 Н розчину трилону Б, надлишок якого відтитрували з мурексидом (до лілового забарвлення) 12 мл 0,102 Н розчином  $\text{CaCl}_2$ .

96. Розрахуйте вміст молібдат-йонів  $\text{MoO}_4^{2-}$  у воді, якщо молібдат-йони спочатку осадили у вигляді  $\text{CaMoO}_4$ . Осад відокремили, промили і перевели в розчин. Йони кальцію відтитрували 11,17 мл 0,05 М розчином трилону Б.

97. У мірній колбі об'ємом 100,0 мл розчинили технічний зразок  $\text{NiSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  вагою 0,5370 г. До 15,00 мл цього розчину додали 25,00 мл 0,0108 М розчину трилону Б. На титрування надлишку трилону Б витратили 11,87 мл 0,0113 М розчину  $\text{ZnSO}_4$ . Розрахуйте процентний вміст нікелю в технічному зразку.

98. Скільки грамів трилону Б необхідно для приготування 250 мл робочого розчину, призначеного для визначення кальцію в розчині, де його вміст 1 г/л? Як експериментально визначають вміст йонів кальцію?

99. У мірній колбі об'ємом 200 мл розчинили 1,1256 г технічного зразка  $\text{MgSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . До 20,00 мл цього розчину додали 25,00 мл 0,0124 М розчину трилону Б. На титрування надлишку трилону Б витратили 9,05 мл 0,0102 М розчину  $\text{ZnSO}_4$ . Розрахуйте процентний вміст магнію в зразку.

100. На титрування 20,00 мл розчину, який отримали розчиненням 1,5250 г безводного (х.ч.) магній сульфату в мірній колбі на 500 мл, витрачається 19,55 мл розчину трилону Б. Визначити нормальну концентрацію трилону Б.

101. Для трилонометричного визначення кальцію і магнію в мінералі, 2,0850 г його, після виконання необхідних операцій по видаленню домішок, що заважають визначенню, розчинили і розбавили водою до мітки в мірній колбі на 250 мл. З цього розчину в конічні колби взяли дві аліквотні частини: 25,00 мл і 100,00 мл. На титрування першої з використанням аміачної буферної суміші й індикатора з *exch* пішло 11,20 мл 0,05240 Н робочого розчину трилону Б, а на титрування другої з індикатором мурексидом при  $pH=12$  витратили 21,65 мл трилону Б. Скільки відсотків кальцію і магнію в зразку?

102. Який об'єм стічної води, що містить близько 0,4 г/л йонів кальцію, потрібно взяти для аналізу, щоб на його титрування витрачалось близько 10 мл 0,1 М розчину трилону Б? Як визначити некарбонатну твердість води?

103. При визначенні загальної твердості води на титрування 50,00 мл її (після створення необхідних умов) витрачається 24,18 мл 0,005 М розчину трилону Б, на титрування 25,00 мл тієї ж води (в присутності мурексиду) витрачається 9,6 мл того ж розчину трилону Б. Визначити кальцієву і магнієву твердість води ( в ммоль-екв/л і мг/л).

104. Яку наважку цинкової руди, що містить близько 15 % цинку, потрібно взяти для аналізу, щоб після розчинення і видалення заважаючих домішок, цинк відтитрувався 20 мл 0,1 М розчину трилону Б?

105. Визначити концентрацію  $Mg^{2+}$  у стічній воді ( в г/л), якщо на титрування 20,00 мл проби води (за відповідних умов) витрачено 17,26 мл 0,6905М розчину трилону Б. Як визначити вміст йонів марганцю у воді?

106. Після відповідної обробки 3,0340 г скла перевели в розчин, відокремили і замаскували заважаючі йони; об'єм розчину довели водою до 100,0 мл. Потім 20,00 мл отриманого розчину відтитрували 7,06 мл 0,0050 М розчином трилону Б у присутності сульфосаліцилової кислоти, як індикатора, при  $\text{pH}=2$ . Визначити процентний вміст алюмінію у склі.

107. Скільки грамів  $\text{Mn}^{2+}$  міститься в 1 л стічної води, якщо після відповідної обробки 50 мл проби і маскування заважаючих визначенню марганцю елементів, на титрування витратили 15,42 мл 0,0500 М розчину трилону Б.

108. Яку наважку силікату, що містить близько 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , потрібно взяти для аналізу, щоб після відповідної обробки проби води алюміній був відділений і відтитрований 10 мл 0,1 М розчином трилону Б.

109. Наважку солі магнію 0,2000 г розчинили в мірній колбі ємністю 100 мл. На титрування 20,00 мл цього розчину витратили 20,25 мл 0,0250 М розчину трилону Б. Обчисліть відсотковий вміст магнію в солі.

110. Обчисліть процентний вміст  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{MgCO}_3$  у вапняку, якщо після розчинення 1,000 г вапняку та відповідної його обробки, об'єм розчину довели водою до 100,0 мл і на титрування 20,00 мл його для визначення суми йонів кальцію та магнію витратили 19,25 мл 0,0514 М розчину трилону Б, а на титрування йонів кальцію витратили 6,26 мл того ж розчину трилону Б.

111. Який об'єм стічної води, що містить близько 0,5 г/л  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ , потрібно взяти для аналізу, щоб на її титрування витрачалось близько 10 мл 0,1 М розчину трилону Б?

112. Скільки грамів металевого цинку треба розчинити в 100,00 мл сульфатної кислоти, щоб на титрування 20,00 мл цього розчину витрачалось 20,00 мл 0,2000 М розчину трилону Б?

113. На титрування 20,00 мл стічної води, що містить  $\text{NiCl}_2$ , витрачено 21,22 мл 0,0207 М трилону Б. Визначити вміст солі нікелю у 10 м<sup>3</sup> стічної води.

114. Визначити вміст плумбум(II) ацетату в стічній воді, якщо на титрування 50,00 мл проби води, після відповідної підготовки, витрачено 5,84 мл 0,050 М розчину трилону Б.

115. Для усунення твердості води за вапняно-содовим методом до 50 л води додали 8 г гашеного вапна та 5,8 г кальцинованої соди. Розрахуйте усі види твердості води. Як експериментально визначають загальну твердість води?

116. На титрування 50 мл води в присутності *exch* витрачено 12 мл 0,025 М розчину трилону Б, а на титрування 100 мл води в присутності метилоранжу-7 мл 0,1 М розчину HCl. Розрахуйте всі види твердості води. Чи придатна вода для питних цілей?

117. Для усунення твердості води за вапняно-содовим методом до 1м<sup>3</sup> води додали 100 г гашеного вапна та 106 г кальцинованої соди. Розрахуйте всі види твердості води. Запишіть рівняння реакцій.

118. На титрування 100 мл води в присутності еріохрому чорного витрачено 12 мл 0,025М розчину трилону Б, а на титрування 100 мл води у присутності мурексиду 8 мл 0,025 М розчину трилону Б. Розрахуйте загальну твердість води, вміст йонів кальцію та магнію (в ммоль-екв/л та мг/л).

119. На титрування 50 мл води в присутності еріохрому чорного витрачено 10 мл 0,025 М розчину трилону Б, а на титрування 100 мл води в присутності метилоранжу 6 мл 0,1 М розчину HCl. Розрахуйте всі види твердості води. Чи придатна вода для питних цілей?

120. Розрахуйте масу хлориду кальцію у розчині, якщо на титрування цього розчину витрачено 20 мл 0,05 М розчину трилону Б. Як експериментально визначають вміст йонів кальцію і магнію у воді?

## ЗАВДАННЯ 5

### ТИТРИМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ОСАДЖЕННЯ

Перед розв'язанням задач цього розділу слід ознайомитися з такими питаннями:

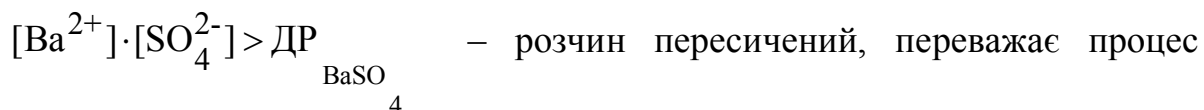
1. Що таке розчинність речовин і добуток розчинності?
2. Як добуток розчинності малорозчинної речовини співвідноситься з його розчинністю?
3. Як розрахувати концентрацію йона – осаджувача за допомогою добутку розчинності?
4. Які умови випадіння осадів?
5. Як впливають на утворення осадів температура, рН та введення ідентичних йонів?
6. Які методи осадження вам відомі, які реакції лежать у їхній основі?
7. Як розраховуються еквіваленти та еквівалентні маси реагентів для приготування розчинів у методах осадження, якої концентрації готуються робочі розчини?
8. Які показники якості води визначають титриметричними методами осадження?
9. Яким методом визначається вміст йонів хлору у воді?
10. Як визначають точку еквівалентності в методах осадження, які індикатори використовують?

### Теоретична частина

**Умови утворення і випадіння осадів** під час проведення аналітичних реакцій: осад малорозчинного сильного електроліту утворюється тоді, коли після змішування розчинів реагентів добуток молярних концентрацій катіонів і аніонів (ЙД – йонний добуток) буде більшим, ніж добуток розчинності (ДР), тобто коли  $ЙД > ДР$ .



Наприклад, осад барій сульфату буде випадати тоді, коли:

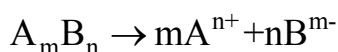


осадження, де  $[\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = \text{ЙД}$ .

Якщо  $\text{ЙД} = \text{ДР}_{\text{BaSO}_4}$  – динамічна рівновага; осад не випадає;

при  $\text{ЙД} < \text{ДР}_{\text{BaSO}_4}$  – розчин ненасичений, осад не випадатиме, а буде переважати процес розчинення осаду.

У загальному вигляді для електроліту  $A_mB_n$ , який дисоціює

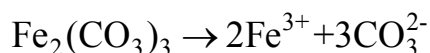


добуток розчинності матиме вигляд

$$\text{ДР}_{A_mB_n} = [A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n,$$

де  $m$  і  $n$  – стехіометричні коефіцієнти в рівнянні дисоціації електроліту.

Наприклад, для солі  $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ , що дисоціює, як



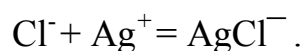
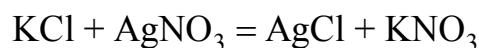
добуток розчинності буде таким

$$\text{ДР}_{\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3} = [\text{Fe}^{3+}]^2 \cdot [\text{CO}_3^{2-}]^3.$$

### **Приклади розв'язання типових задач**

**Приклад 1.** Чи випаде осад хлориду срібла при змішуванні рівних об'ємів 0,01 М розчину KCl і 0,001 М розчину  $\text{AgNO}_3$ ?

Запишемо головне рівняння реакції в аргентометрії при визначенні йону хлору:



Для того, щоб визначити, чи буде утворюватися осад  $\text{AgCl}$ , необхідно:

1) розрахувати молярні концентрації речовин у розчині після змішування розчинів;

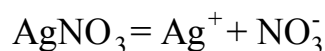
- 2) визначити молярні концентрації у розчині тих йонів, які осаджуються;
- 3) знайти добуток молярних концентрацій йонів ЙД, які утворюють осад;
- 4) порівняти добуток молярних концентрацій йонів ЙД з добутком розчинності  $ДР_{AgCl}$ .

### **Розв'язання**

1. Розрахуємо молярні концентрації  $KCl$  і  $AgNO_3$  у розчині після змішування розчинів. Оскільки при змішуванні рівних об'ємів розчинів загальний об'єм розчину зростає вдвічі, то молярні концентрації розчинів зменшуються вдвічі. Тоді після змішування розчинів  $C(KCl) = \frac{0,01}{2} = 0,005 M$ ;

$$C(AgNO_3) = \frac{0,001}{2} = 0,0005 M.$$

2. З рівнянь дисоціації електролітів



очевидно, що  $c(Cl^-) = c(KCl) = 0,005$  моль/л;  $C(Ag^+) = C(AgNO_3) = 0,0005$  моль/л.

3. Розрахуємо ЙД йонів, які утворюють осад

$$[Ag^+] \cdot [Cl^-] = ЙД = 0,005 \cdot 0,0005 = 2,5 \cdot 10^{-6}.$$

4. Порівняємо ЙД з  $ДР_{AgCl}$ , який згідно з даними (див. *Додаток В, С. 60*) дорівнює  $ДР_{AgCl} = 1,78 \cdot 10^{-10}$ .

$$ЙД > ДР_{AgCl}$$

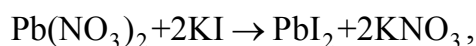
$$2,5 \cdot 10^{-6} > 1,78 \cdot 10^{-10}$$

Отже, розчин пересичений, тому осад  $AgCl$  випаде.

**Приклад 2.** Чи випаде осад  $PbI_2$  за  $25^0C$  при змішуванні  $100 \text{ см}^3$   $0,0015 M$  розчину  $Pb(NO_3)_2$  і  $200 \text{ см}^3$   $0,0012 M$  розчину  $KI$ ?

### **Розв'язання**

Запишемо рівняння реакції

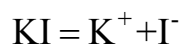
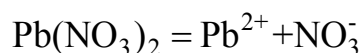


1. Розрахуємо молярні концентрації кожної солі після змішування:

$$c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \frac{0,0015 \cdot 100}{300} = 0,0005 \text{ (моль/л)},$$

$$c(\text{KI}) = \frac{0,0012 \cdot 200}{300} = 0,0008 \text{ (моль/л)}.$$

2. З рівнянь дисоціації солей



випливає, що  $c(\text{Pb}^{2+}) = c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0,0005 \text{ М}$ ;  $c(\text{I}^-) = c(\text{KI}) = 0,0008 \text{ М}$ .

3. Розрахуємо ЙД йонів, що утворюють осад  $\text{PbI}_2$

$$\text{ЙД} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^2 = 5 \cdot 10^{-4} \cdot (8 \cdot 10^{-4})^2 = 3,2 \cdot 10^{-10}.$$

4. Порівняємо ЙД з  $\text{ДР}_{\text{PbI}_2}$ , який згідно з даними (див. Дод. В) дорівнює  $1,1 \cdot 10^{-9}$ . Очевидно, що  $\text{ЙД} < \text{ДР}_{\text{PbI}_2}$ , розчин ненасичений і осад не буде випадати.

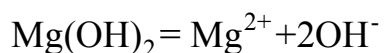
**Приклад 3.** Розчинність магній дигідроксиду за  $25^\circ\text{C}$  дорівнює  $3,1 \text{ мг/дм}^3$ . Обчисліть добуток розчинності цієї речовини.

### **Розв'язання**

1. Розрахуємо молярну концентрацію  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  у насиченому розчині:

$$c(\text{Mg}(\text{OH})_2) = \frac{m(\text{Mg}(\text{OH})_2)}{M(\text{Mg}(\text{OH})_2) \cdot V_{\text{розч.}}} = \frac{3,1 \cdot 10^{-3}}{58,32 \cdot 1} = 5,32 \cdot 10^{-5} \text{ моль / дм}^3$$

2. Розрахуємо добуток розчинності  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ :



$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ моль} & 1 \text{ моль} & 2 \text{ моль} \\ 5,32 \cdot 10^{-5} & 2,5,32 \cdot 10^{-5} & \end{array}$$

$$\text{ДР}_{\text{Mg}(\text{OH})_2} = [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = 5,32 \cdot 10^{-5} \cdot (1,064 \cdot 10^{-4})^2 = 6,02 \cdot 10^{-13}$$

**Приклад 4.** За якої молярної концентрації алюміній-йона буде утворюватися осад алюміній тригідроксиду з розчину, рН якого дорівнює 6?

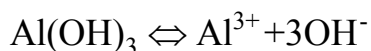
$$D_{P_{Al(OH)_3}} = 3,2 \cdot 10^{-34}$$

**Розв'язання**

1. Розрахуємо молярну концентрацію гідроксид – йонів у розчині.

Оскільки рН=6, то  $[H^+] = 10^{-6}$ , тоді  $pOH = 10^{-14} / 10^{-6} = 10^{-8}$  моль/л.

2. Розрахуємо молярну концентрацію алюміній-йона в розчині



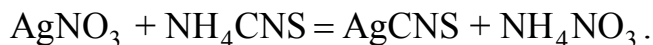
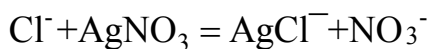
$$D_{P_{Al(OH)_3}} = [Al^{3+}] \cdot [OH^-]^3, \text{ звідки}$$

$$Al^{3+} = \frac{D_{P_{Al(OH)_3}}}{[OH^-]^3} = \frac{3,2 \cdot 10^{-34}}{(10^{-8})^3} = 3,2 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.}$$

Таким чином, при рН = 6 утворення осаду  $Al(OH)_3$  починається за молярної концентрації алюміній-йонів більшої, ніж  $3,2 \cdot 10^{-10}$  моль/л.

**Приклад 5.** До розчину речовини, що містить хлор, додали 30 мл 0,1092 Н розчину  $AgNO_3$ , надлишок якого відтитрували 0,6 мл 0,1105 Н розчину  $NH_4CNS$ . Наважка речовини 0,2154 г. Розрахуйте масову частку хлору в наважці.

**Розв'язання.** В розчині відбуваються дві хімічні реакції:



Очевидно, що на титрування хлорид-йонів пішло  $(30 \cdot 0,1092 - 0,6 \cdot 0,1105)$  ммоль  $AgNO_3$ , що дорівнює  $(30 \cdot 0,1092 - 0,6 \cdot 0,1105) \cdot M(Cl^-)$  мг хлорид-йонів.

Тоді масова частка хлорид-йонів буде дорівнювати:

$$\omega(Cl) = \frac{m(Cl) \cdot 100}{m(\text{наважки})} = \frac{(30 \cdot 0,1092 - 0,6 \cdot 0,1105) \cdot 35,45}{1000 \cdot 0,2154} \cdot 100 = 52,82\%.$$

### **Контрольні задачі**

*Значення ДР для електролітів наведені в таблиці Додатку В наприкінці методичних вказівок, С. 60*

121. Яку наважку  $\text{KCl}$  (х.ч.) потрібно взяти, щоб приготувати розчин, необхідний для встановлення концентрації  $\sim 0,1$  Н розчину аргентум нітрату, використовуючи при цьому мірну колбу на 500 мл?

122. Яку наважку  $\text{NaCl}$  (х.ч.) потрібно взяти для встановлення точної концентрації приблизно 0,05 Н розчину аргентум нітрату, щоб на титрування отриманого з нього розчину, пішло не більше 25 мл розчину аргентум нітрату?

123. 1,4960 г  $\text{KCl}$  (х.ч.) розчинили в мірній колбі на 200 мл. Скільки мілілітрів 0,1 Н розчину  $\text{AgNO}_3$  піде на титрування 20 мл розчину  $\text{KCl}$ ?

124. До розчину, отриманому розчиненням 0,2130 г  $\text{KCl}$ , додали індикатор калій  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  і 30,00 мл 0,1 Н розчину  $\text{AgNO}_3$ . Який колір матиме розчин?

125. Розрахуйте наважку кухонної солі, що містить приблизно 80 %  $\text{NaCl}$ , необхідну для аналізу на вміст йонів хлору, якщо об'єм мірної колби 500 мл, а розчин  $\text{AgNO}_3$  має концентрацію 0,05 Н?

126. Скільки грамів чистого срібла потрібно розчинити в нітратній кислоті та розбавити в мірній колбі об'ємом 100,0 мл, щоб на титрування 20,00 мл отриманого розчину витрачалось стільки ж 0,05 Н розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$ ?

127. Розрахуйте наважку карналіту  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  для аналізу на вміст хлору, щоб після розчинення її й осадження 20,00 мл 0,1020 Н розчином  $\text{AgNO}_3$  на титрування надлишку аргентум нітрату пішло 25,00 мл розчину 0,0486 Н розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$ .

128. 3,00 г  $\text{NaCl}$  розчинили в мірній колбі на 500 мл. Яким об'ємом 0,1000 Н розчину  $\text{AgNO}_3$  потрібно обробити 20,00 мл отриманого розчину, щоб на титрування надлишку срібла витрачалось 25,00 мл 0,0500 Н розчину амоній роданіду?

129. Розрахуйте наважку калій броміду, щоб на її титрування було витрачено не більше 25 мл 0,05 М розчину аргентум нітрату.

130. При яких значеннях рН і який з осадів –  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  чи  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  буде випадати першим при поступовому доданні розчину  $\text{NaOH}$  до суміші, яка вміщує 0,1 моль/дм<sup>3</sup>  $\text{MnCl}_2$  і 0,001 моль/дм<sup>3</sup>  $\text{FeCl}_3$ ?  $\text{ДР}_{\text{Mn}(\text{OH})_2} = 4 \cdot 10^{-14}$ ,  $\text{ДР}_{\text{Fe}(\text{OH})_3} = 3,8 \cdot 10^{-38}$ .

131. У 20 мл розчину міститься 20 мг  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  і 15 мг  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . До розчину додають невеликими порціями розчин  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Який осад буде осаджуватися першим? Відповідь підтвердить розрахунками.

132. До 50 мл 0,02 М розчину кальцій хлориду додали 50 мл 0,03 М розчин калій сульфату. Скільки кальцій сульфату (г/л) залишиться в розчині?

133. Скільки міліграмів  $\text{KCN}$  знаходиться в розчині, на титрування якого до точки еквівалентності потрібно 26,05 мл 0,1015 Н розчину  $\text{AgNO}_3$ ?

134. Розрахуйте нормальну концентрацію розчинів  $\text{AgNO}_3$  і  $\text{NH}_4\text{SCN}$ , якщо при дії 30,00 мл розчину  $\text{AgNO}_3$  на 0,1173 г  $\text{NaCl}$  надлишок йонів срібла відтитрували 3,2 мл розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$ . Попередньо було визначено, що на титрування 20,00 мл розчину  $\text{AgNO}_3$  потрібно 21,00 мл розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$ .

135. Скільки грамів  $\text{NaCl}$  міститься в 1 л розсолу, якщо після розведення 10,00 мл його в мірній колбі на 500 мл на титрування 25,00 мл розчину йде 24,42 мл 0,1 Н розчину  $\text{AgNO}_3$ ?

136. У мірну колбу об'ємом 250 мл вмістили 25,00 мл розведеної  $\text{HCl}$  і довели дистильованою водою до позначки. На титрування 20,00 мл цього розчину витрачено 24,37 мл 0,9850 Н розчину  $\text{AgNO}_3$ . Скільки грамів хлоридної кислоти міститься в 1 л досліджуваної кислоти?

137. Скільки грамів  $\text{KCl}$  міститься в 250 мл розчину, якщо на титрування 25,00 мл його витрачено 17,00 мл 0,0525 Н розчину  $\text{AgNO}_3$ ?

138. Визначити, чи буде утворюватися осад, якщо до 100 мл 0,001 М розчину  $\text{PbSO}_4$  додати 200 мл розчину  $\text{NaI}$  з концентрацією 0,15 г/л?  $\text{ДР}_{\text{PbI}_2} = 8,7 \cdot 10^{-9}$ .

139. На титрування розчину, отриманого розчиненням 0,2082 г NaBr, витрачено 22,80 мл розчину  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ . На титрування 20,00 мл  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  витрачено 19,82 мл розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$ . Визначити нормальну концентрацію розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$ .

140. При якому значенні pH почнеться випадіння осаду  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  із 0,1М розчину залізо (II) сульфату заліза (II), якщо до нього приливати розчин NaOH?  $\text{ДРFe}(\text{OH})_2 = 1,1 \cdot 10^{-15}$ .

141. При аналізі срібного сплаву, що містить 85 % срібла, взяли наважку 0,5000 г. Якою повинна бути нормальна концентрація розчину KSCN, щоб на титрування пішло 50,00 мл цього розчину?

142. Чи буде випадати осад карбонату мангану, якщо до 0,02 М розчину  $\text{MnCl}_2$  додати такий же об'єм 0,03 М розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .  $\text{ДРMnCO}_3 = 5,05 \cdot 10^{-1}$

143. На титрування 20,00 мл 0,05 Н розчину NaCl витрачено 19,64 мл розчину  $\text{AgNO}_3$ . Визначте нормальну концентрацію розчину  $\text{AgNO}_3$ .

144. До насиченого розчину кальцій сульфату додали рівний об'єм розчину  $2,5 \cdot 10^{-2}$  г/л оксалату амонію. Чи буде утворюватися осад кальцій оксалату?  $\text{ДР CaC}_2\text{O}_4 = 2,3 \cdot 10^{-9}$ ,  $\text{ДР CaSO}_4 = 3,7 \cdot 10^{-5}$ .

145. Скільки міліграмів NaCl міститься в 1 л розчину, якщо на титрування 20,00 мл цього розчину пішло 18,62 мл 0,1 Н розчину  $\text{AgNO}_3$ .

146. У скільки разів зменшиться концентрація йонів аргентума в насиченому розчині аргентум хлориду, якщо до нього додати стільки хлоридної кислоти, щоб концентрація кислоти в розчині виявилася 0,03 М?

147. Добуток розчинності аргентум фосфату дорівнює  $1,8 \cdot 10^{-18}$ , а аргентум хромату –  $4,05 \cdot 10^{-12}$  при  $25^\circ \text{C}$ . Яка з цих солей дасть меншу концентрацію йонів срібла в насиченому розчині при  $25^\circ \text{C}$ . До 100 мл насиченого розчину аргентум хлориду додали 1,7 мг аргентум нітрату. Розрахуйте концентрацію хлорид-йонів у розчині.

148. В 1 л водного розчину міститься по 20 мг йонів агентуму і плюмбуму. Яка сіль випаде в осад раніше, якщо до цього розчину додавати по краплях розчин калій хромату?

149. Чи випаде осад плюмбум (II) хлорид, якщо до 10 мл 0,01 М розчину плюмбум нітрату долити 10 мл 0,01 М розчину натрій хлориду?

150. Визначити масову частку срібла в сплаві, якщо після розчинення його наважки вагою 0,5000 г в нітратній кислоті на титрування отриманого розчину витрачено 24,90 см<sup>3</sup> 0,1600 М розчину NH<sub>4</sub>SCN.

## **ЗАВДАННЯ 6**

### **МЕТОДИ ОКИСНО-ВІДНОВНОГО ТИТРУВАННЯ**

Перед виконанням індивідуальних завдань слід засвоїти такий матеріал:

1. Які головні окисно-відновні методи об'ємного аналізу вам відомі, на яких реакціях вони ґрунтуються?

2. Дайте коротку характеристику ( рівняння реакцій, робочі розчини та їх приготування, індикатори, області застосування) методів окисно-відновних методів титрування: а) перманганатометрія; б) хроматометрія; в) йодометрія.

3. Як визначаються фактори еквівалентності й еквівалентні маси в реакціях окиснення - відновлення? Навести приклади.

4. Якими способами фіксується точка еквівалентності в методах окисно-відновного титрування?

5. Редокс-індикатори і принцип їхньої дії?

6. Від яких факторів залежить швидкість і спрямованість окисно-відновних реакцій?

7. Які речовини можна визначати методом перманганатометрії?

8. Які речовини можна визначати методом хроматометрії?

9. Які речовини можна визначати методом йодометрії?

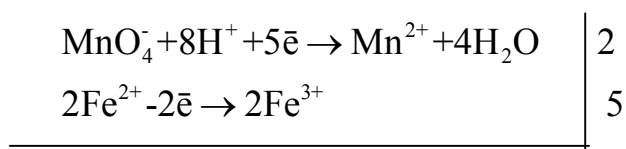


### Приклади розв'язання типових задач

**Приклад 1.** Розрахуйте фактори еквівалентності і молярні маси еквівалентів речовин  $\text{KMnO}_4$  і  $\text{FeSO}_4$ , що беруть участь у реакції:



**Розв'язання.** Для знаходження фактору еквівалентності окисника і відновника обов'язково треба записати рівняння напівреакцій :



**Фактор еквівалентності в окисно-відновних реакціях** ( $f_{\text{екв.}}(X)$ ) – це число, що визначає, яка доля реальної частки речовини еквівалентна одному електрону в окислювально-відновній реакції. Це безрозмірна величина. Фактор еквівалентності розраховують за формулою

$$f_{\text{екв.}}(X) = \frac{1}{z}$$

де  $z$  – кількість електронів.

Оскільки один йон  $\text{Fe}^{2+}$  віддає 1 електрон, отже  $f_{\text{екв.}}(\text{FeSO}_4) = 1$ , а  $M_{\text{е}}(\text{FeSO}_4) = M \cdot f_{\text{екв.}}(\text{FeSO}_4) = 151,91 \cdot 1 = 151,91$  г/моль-екв.

Для  $\text{KMnO}_4$  фактор еквівалентності дорівнює  $f_{\text{екв.}}(\text{KMnO}_4) = 1/5$ , а  $M_{\text{е}}(\text{KMnO}_4) = M \cdot f_{\text{екв.}}(\text{KMnO}_4) = 158,04 \cdot 1/5 = 31,60$  г/моль-екв.

**Приклад 2.** Наважку руди масою 0,2148 г розчинили в сульфатній кислоті. Залізо (II) відновили до заліза (III), а потім відтитрували 17,4 см<sup>3</sup> 0,11 Н розчином  $\text{KMnO}_4$ . Розрахуйте масову частку заліза в руді.

**Розв'язання.** Рівняння взаємодії  $\text{Fe}^{2+}$  з  $\text{KMnO}_4$  (див. Приклад 1). Згідно з рівнянням реакції  $f_{\text{екв.}}(\text{Fe}^{2+}) = 1$ ,  $M_{\text{е}} = M \cdot f_{\text{екв.}}(\text{Fe}^{2+}) = 55,85 \cdot 1 = 55,85$  г/моль-екв.

У титриметричному аналізі речовини взаємодіють в еквівалентних співвідношеннях, тобто в точці еквівалентності:

$$n_e(\text{Fe}^{2+}) = n_e(\text{KMnO}_4);$$

$$n_e(\text{Fe}^{2+}) = \frac{m(\text{Fe}^{2+})}{M(\text{Fe}^{2+}) \cdot f_{\text{екв.}}(\text{Fe}^{2+})}; \quad n_e(\text{KMnO}_4) = C_{\text{H}}(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4);$$

отже

$$\frac{m(\text{Fe}^{2+})}{M(\text{Fe}^{2+}) \cdot f_{\text{екв.}}(\text{Fe}^{2+})} = C_{\text{H}}(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4).$$

Тоді масу заліза знаходять як:

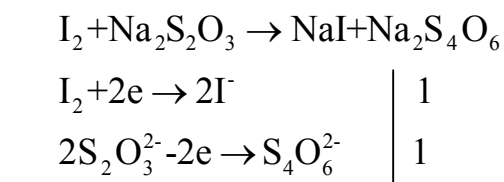
$$m(\text{Fe}^{2+}) = C_{\text{H}}(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4) \cdot M(\text{Fe}^{2+}) \cdot f_{\text{екв.}}(\text{Fe}^{2+}) = \\ = 0,11 \cdot 17,4 \cdot 10^{-3} \cdot 55,85 \cdot 1 = 0,1069 \text{ г.}$$

Масову частку заліза в руді розраховують таким чином:

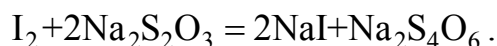
$$\omega(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{m(\text{руди})} \cdot 100\% = \frac{0,1069}{0,2148} \cdot 100\% = 49,77\%.$$

**Приклад 3.** Скільки грамів йоду містилося в пробі води, якщо на його титрування було витрачено  $18,6 \text{ см}^3$   $0,01 \text{ Н}$  розчину  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

**Розв'язання.** Запишемо головне рівняння йодометричного методу аналізу



Після підстановки коефіцієнтів рівняння набуває наступного вигляду:



Фактори еквівалентності йоду та натрій тіосульфату дорівнюють:

$$f_{\text{екв.}}(\text{I}_2) = \frac{1}{2}; \quad M_e(\text{I}_2) = M \cdot f_{\text{екв.}}(\text{I}_2) = 253,8/2 = 126,90 \text{ г/моль-екв.};$$

$$f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 1, \quad M_e = M \cdot f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 158,10 \cdot 1 = 158,10 \text{ г/моль-екв.}$$

Речовини взаємодіють в еквівалентних співвідношеннях, тобто в точці еквівалентності:

$$n_e(I_2) = n_e(Na_2S_2O_3);$$

$$n_e(I_2) = \frac{m(I_2)}{M_e(I_2)}; \quad n_e(Na_2S_2O_3) = C_H \cdot V;$$

$$m(I_2) = C_H \cdot V \cdot M_e(I_2) = 18,6 \cdot 0,01 \cdot 10^{-3} \cdot 126,9 = 0,0236 \text{ г.}$$

### ***Контрольні задачі***

*Значення показників якості води наведені в Додатку Б наприкінці методичних вказівок, С. 57*

151. Яку наважку  $Na_2C_2O_4$  потрібно взяти, щоб на її титрування пішло 20 мл 0,1 Н розчину  $KMnO_4$  у кислому середовищі? Запишіть рівняння реакції.

152. На титрування наважки  $Na_2C_2O_4$  вагою 0,1133 г у кислому середовищі пішло 20,75 мл розчину  $KMnO_4$ . Розрахуйте нормальну концентрацію  $KMnO_4$ . Запишіть рівняння реакції.

153. До наважки 0,1200 г  $K_2Cr_2O_7$  додали надлишок KI і хлоридної кислоти; йод, що виділився, відтитрували 22,85 мл розчину  $Na_2S_2O_3$ . Розрахуйте нормальну концентрацію натрій тіосульфату. Запишіть рівняння реакції.

154. До розчину KI, що містить сульфатну кислоту, додали 20 мл 0,1133 Н розчину  $KMnO_4$ , а йод, що виділився, відтитрували 25,9 мл розчину  $Na_2S_2O_3$ . Яка нормальна концентрація тіосульфату натрію? Запишіть рівняння реакції.

155. Скільки міліграмів йоду міститься в розчині, якщо на його титрування пішло 20 мл 0,1040 Н розчину  $Na_2S_2O_3$ ? Запишіть рівняння реакції.

156. Скільки грамів  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  потрібно взяти, щоб приготувати 500 см<sup>3</sup> 0,1 Н розчину? Для чого використовують розчин  $Na_2S_2O_3$ ? Запишіть рівняння реакції.

157. Який об'єм 0,1 Н розчину  $\text{KMnO}_4$  потрібний для окислювання  $\text{Fe}^{2+}$  у 0,40 г руди, що містить 50 % заліза? Запишіть рівняння реакції.

158. Наважку руди вагою 0,2133 г розчинили в сульфатній кислоті; залізо, що міститься в пробі, відновили до  $\text{Fe}^{2+}$  і потім відтитрували 17,2 мл 0,1117 Н розчином  $\text{KMnO}_4$ . Розрахуйте відсотковий вміст заліза в руді. Запишіть рівняння реакцій.

159. Сплав вагою 5,00 г містить свинець. За допомогою ряду реакцій свинець перевели в  $\text{PbCrO}_4$ . Дією на цю речовину кислоти і  $\text{KI}$  був виділений йод, на титрування якого пішло 10,20 мл 0,1031 Н розчину  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Розрахуйте відсотковий вміст свинцю в сплаві. Запишіть рівняння реакцій.

160. При аналізі стічної води на вміст кальцію його осадили у вигляді  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ . Промитий осад був розчинений у розведеній сірчаній кислоті й відтитрований 20,75 мл 0,02 Н розчином  $\text{KMnO}_4$ . Розрахуйте вміст кальцію в 10 л аналізуємої води. Запишіть рівняння реакцій.

161. Для визначення сульфідів було взято 500 мл стічної води. З цієї проби дією сульфату цинку осадили сульфід, осад відфільтрували, промили. Потім фільтр з осадом вмістили в конічну колбу на 250 мл і додали туди 50 мл 0,01 Н розчину йоду та 5 мл хлоридної кислоти. Надлишок йоду відтитрували 25,40 мл 0,1Н розчином  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Розрахуйте концентрацію сульфідів (г/л) у стічній воді.

162. Для визначення часткової окисності стічної води взяли 10 мл проби, прокип'ятили 10 хв. із 20 мл 0,01 Н розчину  $\text{KMnO}_4$  у середовищі сульфатної кислоти. Після кип'ятіння до гарячої проби додали 20 мл 0,01 Н розчину щавлевої кислоти. Надлишок щавлевої кислоти відтитрували 10,2 мл 0,01 Н розчином  $\text{KMnO}_4$ . Чому дорівнює окисність стічної води? Запишіть рівняння реакцій.

163. Для визначення повної окисності (ХПК) води взяли 10 мл стічної води. Пробу вмістили в конічну колбу на 200 мл, долили піпеткою 5 мл 0,25 Н розчину  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ , додали 1 г сульфату ртуті (для зв'язування йонів хлору) і 0,4 г

агентом сульфату (каталізатор). Потім додали 30 мл концентрованої сульфатної кислоти. Розчину дали охолонути, додали 3-4 краплі дифеніламіну й відтитрували 0,25 Н розчином солі Мора. Яке значення ХПК води, якщо на титрування пішло 3,2 мл солі Мора? Запишіть рівняння реакцій.

164. Скільки грамів кальцію міститься в 250 мл розчину кальцій хлориду, якщо після додання до 25 мл цього розчину 40 мл 0,1 Н розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ , на титрування надлишку  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  пішло 15 мл 0,02 Н розчину  $\text{KMnO}_4$ . Запишіть рівняння реакцій.

165. Скільки мілілітрів хлорної води, яка містить близько 2 % хлору, потрібно взяти для аналізу на вміст вільного хлору методом йодометрії, щоб на титрування її після відповідної обробки витратилося 22,4 мл 0,1246 Н розчину  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ? Запишіть рівняння реакцій.

166. Який об'єм 0,1 Н розчину  $\text{KMnO}_4$  піде на титрування: а) 0,15 г оксалату натрію; б) наважки 0,3 г руди, що вміщує 43% (за масою) заліза? Запишіть рівняння реакції.

167. Стічну воду, що містить  $\text{CuSO}_4$  взяли в кількості 250 мл, помістили в мірну колбу на 1 л і довели до позначки дистильованою водою. До 25 мл отриманого розчину долили надлишок підкисленого розчину  $\text{KI}$ . Виділений йод відтитрували 20,45 мл 0,1046 Н розчином  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Розрахуйте концентрацію  $\text{Cu}^{2+}$  у стічній воді в г/л. Запишіть рівняння реакції.

168. До наважки 0,1508 г  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  додали надлишкову кількість  $\text{KI}$  і хлоридної кислоти. Виділений йод відтитрували 21,65 мл розчином  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Розрахуйте нормальну концентрацію розчину  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Запишіть рівняння реакції.

169. Для визначення у природній воді розчиненого кисню в заповнену водою кисневу склянку ( $V=238,4$  мл) долили 2 мл розчину  $\text{MnSO}_4$  і 2 мл розчину  $\text{KOH}$ . Склянку закрили та ретельно перемішали розчин з осадом. Потім усе перенесли до конічної колбу на 500 мл, додали 5 мл розведеної сульфатної кислоти і 2 мл 10 %-го розчину  $\text{KI}$ . Після 5-хвилинної витримки

склянки з розчином у темному місці йод, що виділився, відтитрували 14,2 мл 0,012 Н розчином  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Який вміст кисню в 1 л природної води? Запишіть рівняння реакцій.

170. Наважку 0,2940 г  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  розчинили у мірній колбі об'ємом 200 мл. Додали підкислений розчин  $\text{KI}$ . На титрування 25,00 мл отриманого розчину з крохмалюм пішло 20,00 мл розчину  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Розрахуйте еквіваленти та нормальні концентрації речовин, які беруть участь у реакції. Запишіть рівняння реакції.

171. Скільки грамів хлору міститься в 1 л води, якщо після додання до 25 мл води надлишку  $\text{KI}$ , на титрування йоду, що утворився, витрачено 20,1 мл 0,11 Н розчину натрій тіосульфату. Запишіть рівняння реакцій.

172. Для визначення вмісту хрому в стічній воді було проведено два паралельних титрування:

а) 20 мл аналізованої стічної води при визначенні хрому (VI) підкислили сірчаною кислотою й відтитрували 10,2 мл 0,25 Н розчином солі Мора;

б) 20 мл аналізованої стічної води при визначенні загального вмісту хрому підкислили сульфатною кислотою, обробили амоній персульфатом для окислювання хрому (III) у хром (VI) і відтитрували 18,5 мл 0,25 Н розчином солі Мора. Розрахуйте вміст хрому (VI) і хрому (III) у 1 л стічної води. Запишіть рівняння реакцій.

173. До 30 мл 0,107 Н розчину  $\text{KMnO}_4$  додали сульфатну кислоту і йодид калію. Утворений йод відтитрували 33,27 мл розчином  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Розрахуйте нормальну концентрацію розчину  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Запишіть рівняння реакцій.

174. Для аналізу технічного натрій нітриту 1,3730 г його розчинили в мірній колбі об'ємом 1000 мл. На титрування 20 мл розчину калій перманганату з концентрацією 0,05 Н пішло 26,90 мл отриманого розчину натрій нітриту. Скільки відсотків натрій нітриту в технічному зразку? Запишіть рівняння реакцій.

175. Скільки мг йоду містить проба води, якщо на титрування 20 мл проби води витрачено 16,5 мл 0,1 М розчину натрій тіосульфату? Запишіть рівняння реакції.

176. До наважки 0,14 г калій біхромату додали надлишок калій йодиду та хлоридної кислоти, виділившийся йод відтитрували 23,5 мл розчином натрій тіосульфату. Визначити молярну та нормальну концентрації натрій тіосульфату. Запишіть рівняння реакцій.

177. У мірній колбі на 100 мл приготували розчин щавлевої кислоти. На титрування 20 мл цього розчину було витрачено 17,7мл 0,01М розчину калій перманганату. Визначити, скільки грамів безводної щавлевої кислоти містилося в колбі (рівняння реакції).

178. До 15 мл 0,1 М розчину йоду додали 25 мл 0,05 М розчину натрій тіосульфату. Синім чи безбарвним буде розчин (рівняння реакції)?

179. Скільки відсотків заліза містить залізна проволочка, якщо після розчинення 0,12 г її в сульфатній кислоті (без доступу повітря), на титрування цього розчину витрачено 20,5 мл 0,02 М розчину калій перманганату. Запишіть рівняння реакцій.

180. Наважку руди вагою 0,2453 г розчинили в сульфатній кислоті; залізо, що міститься в пробі, відновили до  $\text{Fe}^{2+}$  і потім відтитрували 18,4 мл 0,12 Н розчином  $\text{KMnO}_4$ . Розрахуйте відсотковий вміст заліза в руді. Запишіть рівняння реакцій.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мураєва О. О. Конспект лекцій з дисципліни «Аналітична хімія» (для студентів 2 курсу денної та 2-3 курсів заочної форм навчання напряму 6.060103 – Гідротехніка ( Водні ресурси). /О.О. Мураєва ; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва. – Харків : ХНУМГ, 2015. – 106 с.
2. Набиванець Б. Й. Аналітична хімія природного середовища. / Б. Й. Набиванець, В. В. Сухан, Л. В. Калабіна. – Київ : Либідь, 1996. – 304 с.
3. Аналітична хімія : Якісний та кількісний аналіз. Навчальний конспект лекцій / В. В. Болотов, О. М. Свечнікова, М. Ю. Голік та ін. ; за ред. проф. В. В. Болотова. – Вінниця : Нова книга, 2011.– 424 с.
4. Сегеда А. С. / Збірник задач і вправ з аналітичної хімії. Якісний аналіз / А. С. Сегеда, Р. Л. Галаган. – Київ : ЦУЛ, 2002. – 429 с.
5. Кульский Л. А. /Химия воды. / Л. А. Кульский, В. Ф. Накорчевская. – Киев : Вища школа, 1983. – 240 с.
6. Таубе П. Р. Химия и микробиология воды. / П. Р. Таубе, А. Г. Баранова. – М. : Высшая школа, 1983. – 280 с.
7. Кульский Л. А. Химия и микробиология воды. Практикум / Л. А. Кульский. – Киев.: Вища школа, 1987. – 175 с.

### Інформаційні ресурси

1. Дистанційний курс із дисципліни «Аналітична хімія»  
<http://cdo.kname.edu.ua/course/view.php?id=912>
2. Цифровий репозиторій ХНУМГ ім. О. М. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://eprints.kname.edu.ua>



## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Константи дисоціації електролітів за температури 25<sup>0</sup> С

Формула кислоти	K <sub>д</sub>	Формула основи	K <sub>д</sub>
H <sub>3</sub> AsO <sub>3</sub>	5,9·10 <sup>-10</sup>	Al(OH) <sub>3</sub>	1,38·10 <sup>-9</sup>
HBrO	2,0·10 <sup>-9</sup>	NH <sub>4</sub> OH	6,3·10 <sup>-5</sup>
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	7,1·10 <sup>-10</sup>	Ba(OH) <sub>2</sub>	2,3·10 <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4,5·10 <sup>-7</sup>	Fe(OH) <sub>2</sub>	1,3·10 <sup>-4</sup>
HCN	5,0·10 <sup>-10</sup>	Fe(OH) <sub>3</sub>	1,35·10 <sup>-12</sup>
CH <sub>3</sub> COOH	1,74·10 <sup>-5</sup>	Cd(OH) <sub>2</sub>	5,0·10 <sup>-3</sup>
H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	5,6·10 <sup>-2</sup>	Ca(OH) <sub>2</sub>	4,0·10 <sup>-2</sup>
HF	6,2·10 <sup>-4</sup>	Co(OH) <sub>2</sub>	4,0·10 <sup>-5</sup>
HNO <sub>2</sub>	6,9·10 <sup>-4</sup>	Mg(OH) <sub>2</sub>	2,5·10 <sup>-3</sup>
H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>	3,1·10 <sup>-2</sup>	Mn(OH) <sub>2</sub>	5,0·10 <sup>-4</sup>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	7,1·10 <sup>-3</sup>	Cu(OH) <sub>2</sub>	3,4·10 <sup>-7</sup>
H <sub>2</sub> S	1,0·10 <sup>-7</sup>	Ni(OH) <sub>2</sub>	2,5·10 <sup>-5</sup>
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1,4·10 <sup>-2</sup>	Pb(OH) <sub>2</sub>	3,0·10 <sup>-8</sup>
H <sub>2</sub> Se	1,3·10 <sup>-4</sup>	AgOH	5,0·10 <sup>-3</sup>
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	1,3·10 <sup>-10</sup>	Sc(OH) <sub>2</sub>	7,6·10 <sup>-10</sup>
HIO <sub>3</sub>	2,3·10 <sup>-11</sup>	Sr(OH) <sub>2</sub>	1,5·10 <sup>-1</sup>
HClO	2,95·10 <sup>-8</sup>	Cr(OH) <sub>3</sub>	1,0·10 <sup>-10</sup>
H <sub>2</sub> MO <sub>4</sub>	2,9·10 <sup>-3</sup>	Zn(OH) <sub>2</sub>	4,0·10 <sup>-5</sup>
H <sub>2</sub> SnO <sub>3</sub>	4,0·10 <sup>-10</sup>		

**Примітка.** Константи дисоціації кислот наведені за першим , а основ – за останнім ступенем дисоціації.

## ДОДАТОК Б

### Вимоги нормативних документів до показників якості води

Гігієнічні вимоги, що визначають придатність води для питних цілей, включають:

- безпеку в епідемічному відношенні;
- нешкідливість хімічного складу;
- сприятливі органолептичні властивості;
- радіаційну безпеку.

#### ***I. Мікробіологічні і паразитологічні показники безпеки питної води***

Показники	Одиниці виміру	ДСАНПіН 2.2.4-171-10 не більше	Директива 98/83/ЕС	Рекоменд. ВООЗ
Число бактерій в 1 см <sup>3</sup> води	КУО/см <sup>3</sup>	100		
Число бактерій групи кишкових паличок (коліформних мікроорганізмів) в 1 дм <sup>3</sup> (індекс БГКП)	КУО/дм <sup>3</sup>	3	0	0
Число термостабільних кишкових паличок фекальних колиформ – індекс ФК) в 100 см <sup>3</sup> води	КУО/см <sup>3</sup>	відсутн.	–	
Число патогенних мікроорганізмів в 1 дм <sup>3</sup> води	КУО/дм <sup>3</sup>	відсутн.	–	
Число колифагів у 1 дм <sup>3</sup> води	БУО/дм <sup>3</sup>	відсутн.	–	відсутн.
Число патогенних кишкових найпростіших у 25 дм <sup>3</sup> води	Клітини, цисти)/25 дм <sup>3</sup>	відсутн.	–	відсутн.
Число кишкових гельмінтів у 25 дм <sup>3</sup> води	(Клітини, яйця, личинки /25дм <sup>3</sup>	відсутн.	–	відсутн.

**Примітка:** тут і далі **прочерк** означає, що параметр не нормується.

#### ***II. Токсикологічні показники нешкідливості хімічного складу питної води***

Показники	Одиниці виміру	ДСАНПіН 2.2.4-171-10 не більше	Директиви 98/83/ЕС не більше	Реком. ВООЗ не більше
Алюміній	мг/дм <sup>3</sup>	0,2 (0,5)	0,2	0,2
Барій	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	–	0,7
Берилій	мг/дм <sup>3</sup>	–	–	–
Бор	мг/дм <sup>3</sup>		1,0	0,5
Молібден	мг/дм <sup>3</sup>	0,07	–	0,07
Миш'як	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01
Селен	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01
Свинець	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01
Стронцій		–	–	–
Нікель	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,02
Амоній	мг/дм <sup>3</sup>	0,5 (2,6*)		
Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	50	50	50

Показники	Одиниці виміру	ДСАНПіН 2.2.4-171-10 не більше	Директиви 98/83/ЕС не більше	Реком. ВООЗ не більше
Алюміній	мг/дм <sup>3</sup>	0,2 (0,5)	0,2	0,2
Барій	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	—	0,7
Берилій	мг/дм <sup>3</sup>	—	—	—
Бор	мг/дм <sup>3</sup>		1,0	0,5
Молібден	мг/дм <sup>3</sup>	0,07	—	0,07
Миш'як	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01
Селен	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01
Свинець	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01
Нітриди	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,5	3,0
Ртуть		0,0005	0,001	0,01
Фтор для кліматичних районів: I і II III IV	мг/дм <sup>3</sup>	1,5 1,2 0,7	1,5	1,5
Хром (Cr <sup>6+</sup> ) (Cr <sup>3+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	—	0,05	0,05 (заг.)
Тригалогенметани (ТГМ, сума) Хлороформ диброхлорметан тетрахлорвуглець	мг/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup> мг/дм <sup>3</sup>	0,1 0,06 0,01 0,002	0,1	0,2
Пестициди	мг/дм <sup>3</sup>	0,0001		
Поліакриламід залишковий	мг/дм <sup>3</sup>	—	—	—
Окисність (KMnO <sub>4</sub> )	мг О/дм <sup>3</sup>	5,0	5,0	
Загальний органічний вуглець	мг/дм <sup>3</sup>	3,0		

### III. Органолептичні і фізико-хімічні показники якості питної води

Показники	Одиниці Виміру	ДСАНПіН 2.2.4-171-10 не більше	Директива 98/83/ЕС	Рекомен. ВООЗ Не більше
Запах	Бал	2	Прийнятн.	відсут.
Каламутність	НОК (нефелометрична одиниця каламутності) (1НОК=0,58 мг/дм <sup>3</sup> )	0,5(1,5)	Прийнятн.	5 (нім)
Кольоровість	Град	20 (35)	Прийнятн.	15
Смак і присмак	Бал	2	Прийнятн.	Відсут.
Водневий показник, рН, в діапазоні	одиниці рН	6,5-8,5	6,5-9,5	6,5-8,5
Мінералізація загальна (сухий залишок)	мг/дм <sup>3</sup>	1000 (1500)	—	—
Твердість загальна	мг-екв/дм <sup>3</sup>	7 (10)	—	10
Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	250 (500)	250	
Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	250 (350)	250	250
Мідь	мг/дм <sup>3</sup>	1,0	2,0	2,0(1,0)

Показники	Одиниці Виміру	ДСАНПіН 2.2.4-171-10 не більше	Директива 98/83/ЕС	Рекомен. ВООЗ Не більше
Запах	Бал	2	Прийнятн.	відсут.
Каламутність	НОК (нефелометрична одиниця каламутності) (1НОК=0,58 мг/дм <sup>3</sup> )	0,5(1,5)	Прийнятн.	5 (нім)
Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	0,05(0,5)	0,05	0,1
Загальне залізо	мг/дм <sup>3</sup>	0,2(1,0)	0,2	0,3
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	1,0.	—	3,0
Хлорфеноли	мг/дм <sup>3</sup>	0,0003	—	—
Поліфосфати залишкові (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	3,5	—	—

**Примітки:** \* величини, зазначені в дужках, допускаються з урахуванням конкретної ситуації, за узгодженням з органами санітарно-епідеміологічної служби;

\*\* за ДСанПіН 2.2.4-171-10 вода не повинна містити інші компоненти, здатні змінювати її органолептичні властивості: -цинк, поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, феноли в концентраціях, що визначаються стандартними методами досліджень.

#### IV. Показники фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води

Показники	Одиниці виміру	ДСАНПіН 2.2.4-171-10	Директиви 98/83/ЕС	Реком. ВООЗ
Мінералізація загальна	Мг/дм <sup>3</sup>	200-500	—	—
Твердість загальна	Ммоль-екв/дм <sup>3</sup>	1,5 – 7	—	—
Лужність загальна	ммоль-екв/дм <sup>3</sup>	0,5-6,5	—	—
Кальцій	Мг/дм <sup>3</sup>	25-75		
Магній	Мг/дм <sup>3</sup>	10-50	—	—
Калій	Мг/дм <sup>3</sup>	2-20		
Натрій	Мг/дм <sup>3</sup>	2-20		
Фториди	Мг/дм <sup>3</sup>	0,7-1,2	—	—

#### V. Вміст залишкового хлору та озону у воді

Показники	ДСАНПіН 2.2.4-171-10	Директиви 98/83/ЕС	Реком. ВООЗ
Хлор вільний після РЧВ	0,3 – 0,5*	—	0,6 -1,0
Хлор зв'язаний після РЧВ	0,8-1,2**	—	
Озон залишк. після камери змішування, мг/дм <sup>3</sup>	0,1-0,3****	—	—

**Примітка:** РЧВ – резервуар чистої води

\* тривалість контакту хлору з водою не менше 30 хв.;

\*\* тривалість контакту хлору з водою не менше 60 хв.;

\*\*\* тривалості контакту не менше 12 хв.;

\*\*\*\* тривалості контакту не менше 4 хв.

## ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Добуток розчинності електролітів за температури 25<sup>0</sup> С

Електроліт	ДР	Електроліт	ДР
1	2	3	4
<i>AgCl</i>	$1,78 \cdot 10^{-10}$	<i>Cr(OH)<sub>3</sub></i>	$6,3 \cdot 10^{-31}$
<i>AgBr</i>	$6,0 \cdot 10^{-13}$	<i>Fe(OH)<sub>2</sub></i>	$8 \cdot 10^{-16}$
<i>AgI</i>	$1,1 \cdot 10^{-16}$	<i>Fe(OH)<sub>3</sub></i>	$6,3 \cdot 10^{-38}$
<i>Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub></i>	$4,0 \cdot 10^{-12}$	<i>FeCO<sub>3</sub></i>	$3,5 \cdot 10^{-11}$
<i>Ag<sub>2</sub>S</i>	$6,0 \cdot 10^{-50}$	<i>FePO<sub>4</sub></i>	$1,3 \cdot 10^{-22}$
<i>Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	$2,0 \cdot 10^{-5}$	<i>Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub></i>	$1,3 \cdot 10^{-18}$
<i>Ag<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>	$8,2 \cdot 10^{-12}$	<i>Hg<sub>2</sub>Br<sub>2</sub></i>	$5,8 \cdot 10^{-23}$
<i>Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></i>	$1,8 \cdot 10^{-18}$	<i>Hg<sub>2</sub>I<sub>2</sub></i>	$4,5 \cdot 10^{-29}$
<i>AgOH</i>	$1,6 \cdot 10^{-8}$	<i>Hg<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>	$8,9 \cdot 10^{-17}$
<i>Al(OH)<sub>3</sub></i>	$3,2 \cdot 10^{-34}$	<i>Hg<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub></i>	$5,0 \cdot 10^{-9}$
<i>AlPO<sub>4</sub></i>	$5,8 \cdot 10^{-19}$	<i>Mg(OH)<sub>2</sub></i>	$6,0 \cdot 10^{-10}$
<i>BaCO<sub>3</sub></i>	$4,0 \cdot 10^{-10}$	<i>Mn(OH)<sub>2</sub></i>	$1,9 \cdot 10^{-13}$
<i>Ba<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub></i>	$1,1 \cdot 10^{-7}$	<i>PbCl<sub>2</sub></i>	$1,6 \cdot 10^{-5}$
<i>BaCrO<sub>4</sub></i>	$1,2 \cdot 10^{-10}$	<i>PbBr<sub>2</sub></i>	$9,1 \cdot 10^{-6}$
<i>Ba<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></i>	$6 \cdot 10^{-39}$	<i>PbI<sub>2</sub></i>	$1,1 \cdot 10^{-9}$
<i>Ba<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub></i>	$3 \cdot 10^{-11}$	<i>PbCO<sub>3</sub></i>	$7,5 \cdot 10^{-14}$
<i>BaSO<sub>4</sub></i>	$1 \cdot 10^{-10}$	<i>PbCrO<sub>4</sub></i>	$1,8 \cdot 10^{-14}$
<i>Ba(OH)<sub>2</sub></i>	$1 \cdot 10^{-8}$	<i>PbSO<sub>4</sub></i>	$1,6 \cdot 10^{-8}$
<i>BaSeO<sub>4</sub></i>	$5,0 \cdot 10^{-8}$	<i>Pb(OH)<sub>2</sub></i>	$5,0 \cdot 10^{-16}$
<i>Bi(OH)<sub>3</sub></i>	$3,2 \cdot 10^{-40}$	<i>SnI<sub>2</sub></i>	$8,3 \cdot 10^{-6}$
<i>CaCO<sub>3</sub></i>	$4,8 \cdot 10^{-9}$	<i>Sn(OH)<sub>2</sub></i>	$6,3 \cdot 10^{-27}$
<i>CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub></i>	$2,3 \cdot 10^{-9}$	<i>ZnS</i>	$1,6 \cdot 10^{-24}$
<i>CaCrO<sub>4</sub></i>	$7,1 \cdot 10^{-4}$	<i>Zn(OH)<sub>2</sub></i>	$1,2 \cdot 10^{-17}$
<i>Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></i>	$2,0 \cdot 10^{-29}$	<i>ZnCO<sub>3</sub></i>	$1,5 \cdot 10^{-11}$
<i>CaSO<sub>4</sub></i>	$2,5 \cdot 10^{-5}$	<i>ZnC<sub>2</sub>O<sub>4</sub></i>	$2,8 \cdot 10^{-8}$

## ДОДАТОК Г

### Вказівки до виконання контрольної роботи

1 Номера і умови задач слід переписувати в тому порядку, в якому вони наведені в таблиці.

2 Рішення задач і відповіді повинні бути чіткими і обґрунтованими, наведені всі рівняння реакцій і математичні формули з поясненнями.

3 Для зауважень рецензента необхідно залишати доволі широкі поля. Якщо контрольна робота виконана невірно, то її слід переробити наприкінці зошита.

4 Контрольна робота, яка виконана не за своїм варіантом, викладачем не перевіряється і не зараховується.

Контрольна робота охоплює 6 тем з аналітичної хімії. Студент повинен вирішити по одній задачі з кожної теми.

Номера кожної з шести задач студент знаходить за таблицею варіантів: номер задач I і IV стоїть проти початкової літери його прізвища (П), номер задач II і V – проти початкової літери імені (І), номер задач III і VI – проти початкової літери по батькові ( далі Б).

Наприклад, студент Іващенко Сергій Миколайович виконує задачі за номерами 9, 47, 77, 100, 136, 164.

**Таблиця Г.1 – Варіанти контрольних робіт**

Тема	I	II	III	IV	V	VI
Номер задачі	П	І	Б	П	І	Б
А	1	31	88	92	121	153
Б	2	32	87	93	122	154
В	3	33	86	94	123	155
Г	4	34	85	95	124	156
Д	5	35	84	96	125	157
Е	6	36	83	97	126	158

Продовження таблиці Г.1

Тема	I	II	III	IV	V	VI
Номер задачі	П	I	Б	П	I	Б
Ж	7	37	82	98	127	159
З	8	38	81	99	128	160
І	9	39	80	100	129	161
К	10	40	79	101	130	162
Л	11	41	78	102	131	163
М	12	42	77	103	132	164
Н	13	43	76	104	133	165
О	14	44	75	105	134	166
П	15	45	74	106	134	167
Р	16	46	73	107	135	168
С	17	47	72	108	136	169
Т	18	48	71	109	137	170
У	19	49	70	110	138	171
Ф	20	50	69	111	139	172
Х	21	51	68	112	140	173
Ц	22	52	67	113	141	174
Ч	23	53	66	114	142	175
Ш	24	54	65	115	143	176
Щ	25	55	64	116	144	177
Є	26	56	63	117	145	178
Ю	27	57	62	118	146	179
Я	28	58	61	119	147	180

*Виробничо-практичне видання*

до виконання самостійної та контрольної робіт  
із навчальної дисципліни

## **«АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ»**

*(для студентів 1–2 курсів денної та заочної форм навчання  
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
спеціалізація (освітня програма) «Гідротехніка (водні ресурси)»)*

Укладачі : **МУРАЄВА** Ольга Олексіївна,  
**ПАНАЙОТОВА** Тетяна Дмитрівна,  
**ЗАЙЦЕВА** Інна Сергіївна

Відповідальний за випуск *І. С. Зайцева*

За авторською редакцією

Комп'ютерний набір О. О. Мураєва

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2018, поз. 171 М

---

Підп. до друку 15.03.2018.      Формат 60 x 84/16  
Друк на ризографі      Ум. друк. арк. 2,0  
Тираж 50 пр.      Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.