

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до виконання самостійної та контрольної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДОВКІЛЛЯ»**

*(для студентів 1–3 курсу денної та заочної форм навчання першого  
(бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності  
101 – Екологія, 183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2021**

Методичні рекомендації до виконання самостійної та контрольної роботи з навчальної дисципліни «Фізико-хімічні методи аналізу довкілля» (для студентів 1–3 курсу денної та заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 101 – Екологія, 183 – Технології захисту навколишнього середовища) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: І. С. Зайцева, Т. Д. Панайотова, О. О. Мураєва. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 34 с.

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

#### ***Рецензент***

**С. В. Нестеренко**, кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою хімії, протокол № 3 від 24.10.2017*

## ЗМІСТ

Загальні зауваження.....	4
1 Фотометричний метод аналізу.....	5
2 Рефрактометричний метод аналізу.....	9
3 Кондуктометричний метод аналізу.....	15
4 Потенціометричний метод аналізу.....	20
Список використаних джерел.....	27
Додатки.....	28

## ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ

У процесі вивчення дисципліни «Фізико-хімічні методи аналізу довкілля» важлива роль відводиться самостійній роботі студентів, яка є невід'ємною складовою частиною процесу підготовки фахівців, сприяє кращому засвоєнню і практичному застосуванню теоретичного матеріалу, є визнаним і дієвим засобом набуття і розвитку творчого мислення і самовдосконалення студентів. Цілком очевидно, що успішне засвоєння дисципліни ефективно лише при умові систематичної і активної участі у процесі навчання самих студентів.

Одним зі шляхів активізації вивчення дисципліни є збільшення часу, що витрачає студент на самостійну роботу, а ефект самостійної роботи буде тим вищим, чим краще вона організована. Мета цих методичних вказівок – допомогти студентам у правильній і раціональній організації самостійної роботи під керівництвом і контролем викладачів.

Виконання контрольної роботи є однією із складових 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. 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 дев'ять розділів, і два додатки, необхідні для розв'язання задач.

Кожен студент виконує індивідуальний варіант самостійної (контрольної, розрахунково-графічної) роботи, номер якого визначає викладач.

Номери й умови завдань *необхідно переписувати* в тій послідовності, в якій вони вказані у варіанті контрольної роботи. Відповіді на теоретичні питання і розв'язання задач слід надаватися з докладними поясненнями.

Контрольна робота повинна бути акуратно оформлена в окремому зошиті, датована, підписана студентом, своєчасно подана на рецензування і зарахована до початку екзаменаційної сесії. Для зауважень і позначень рецензента слід залишати широкі поля (3 см). Якщо контрольна робота містить істотні помилки, їх необхідно усунути відповідно до зауважень рецензента. Виправлення необхідно виконати в кінці роботи, а не в рецензованому тексті.

Контрольну роботу, яка виконана не за своїм варіантом, викладач не рецензує й не зараховує.

## 1 ФОТОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

**Приклад 1.** Коефіцієнт молярного поглинання комплексу міді (II) з аміаком при  $\lambda = 590$  нм дорівнює 20 000. Який мінімальний вміст міді (%) можна визначити в наважці масою 0,5 г, що міститься в 50 см<sup>3</sup> розчину в кюветі товщиною 2 см, якщо мінімальне значення оптичної густини, яке можна виміряти на ФЕК, дорівнює 0,02?

**Розв'язання.** Використовуючи рівняння

$$D = \varepsilon \cdot c \cdot l$$

розрахуємо мінімальну молярну концентрацію міді за умов, що  $D_{\min} = 0,02$ ;  $\varepsilon = 20000$ ;  $l = 2$  см.

$$c(\text{Cu}^{2+})_{\min} = \frac{D}{\varepsilon \cdot l} = \frac{0,02}{20000 \cdot 2} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Розрахуємо масу міді 50 мл (0,05 л):

$$m(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{Cu}^{2+})_{\min} \cdot M(\text{Cu}^{2+}) \cdot V_{\text{р-ну}} = 5 \cdot 10^{-7} \cdot 64 \cdot 0,05 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ г.}$$

Розрахуємо мінімальний процентний вміст міді в наважці:

$$\omega(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{m(\text{наважки})} = \frac{1,6 \cdot 10^{-6}}{0,5} \cdot 100 \% = 3,2 \cdot 10^{-4} \%$$

### Контрольні задачі

1. Обчисліть коефіцієнт молярного поглинання комплексу міді (II), якщо оптична густина розчину, що містить 0,4 мг міді (II) в 250 см<sup>3</sup> розчину при товщині кювети 1 см, дорівнює 0,15.

2. Коефіцієнт молярного поглинання  $\text{KMnO}_4$  при довжині хвилі 546 нм дорівнює 2 420. Оптична густина досліджуваного розчину в кюветі товщиною 2 см дорівнює 0,80. Визначить процентну концентрацію  $\text{KMnO}_4$  у розчині, якщо густина розчину 1,1 г/см<sup>3</sup>.

3. Лікарський препарат вагою 0,1321 г, який містить атропін, розчинили в мірній колбі на 100 мл і довели водою до позначки. До 1 мл отриманого розчину додали 4 мл розчину альдегіду, нагріли. Після цього додали 10 мл води. Оптична густина отриманого розчину атропіну  $D = 0,54$ . Для стандартних розчинів атропіну були отримані наступні дані:

$c$ , мг/л	0,02	0,06	0,10	0,12	0,16	0,200
$D$	0,08	0,261	0,412	0,510	0,653	0,842

Розрахуйте масову частку атропіну в препараті.

4. При фотометричному визначенні свинцю у воді для стандартних розчинів свинцю (II) були отримані наступні дані:

Вміст свинцю, %	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\tau$ , %	100	87,5	77,5	68,5	59,0	52,5

Визначить вміст свинцю у воді (%), моль/л), якщо пропускання досліджуваної води 62 %, а густина цього розчину  $\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$ .

5. Коефіцієнт молярного поглинання комплексу берилія з ацетилацетоном у хлороформі при 290 нм дорівнює 30 000. Який мінімальний вміст берилія (%) можна визначити в наважці 1 г, розчиненій в  $50 \text{ см}^3$  розчину, в кюветі товщиною 5 см, якщо мінімальне значення оптичної густини, яке можна виміряти на ФЕК, дорівнює 0,02?

6. Коефіцієнт молярного поглинання комплексу  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  при 580 нм дорівнює 6 000. Розрахуйте оптичну густина  $3 \cdot 10^{-5} \text{ М}$  розчину комплексу, виміряну при 580 нм у кюветі товщиною 2,0 см. Чому дорівнює пропускання цього розчину?

7. Молярний коефіцієнт світлопоглинання комплексу  $\text{MoO}(\text{SCN})_5^{2-}$  в ізоаміловому спирті при  $\lambda = 475 \text{ нм}$  дорівнює  $\epsilon = 1,50 \cdot 10^4$ . Розрахуйте мінімальну масову частку (%) молібдену в ґрунті, яку можна визначити даним методом, якщо наважку ґрунту масою 20,00 г розчиняють в 200,0 мл оксалатного буферного розчину, відбирають 150,0 мл фільтрату й після відповідної обробки екстрагують утворений  $\text{MoO}(\text{SCN})_5^{2-}$  15 мл ізоамілового спирту. Екстракт фотометрують в кюветі  $l = 3,0 \text{ см}$ . Мінімальна оптична густина дорівнює 0,020.

8. 0,1854 г препарату, що містить триазин, вмістили в мірну колбу на 100 мл і довели до позначки водою. 2 мл отриманого розчину вмістили в колбу на 100 мл і знову довели водою до позначки. До 3 мл цього розчину додали 3 мл води і виміряли оптичну густина ( $D = 0,62$ ). Розрахуйте масову частку трифазну в препараті, якщо для стандартних розчинів трифазну були отримані наступні дані:

$c$ , мг/л	2	4	6	8	10	14	18	20
$D$	0,094	0,190	0,290	0,384	0,482	0,661	0,861	0,963

9. Для побудови калібрувального графіка манган в стандартному розчині окислили до перманганату й отримали 0,0125 М розчин  $\text{KMnO}_4$ . Відібрали 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 і 15 мл стандартного розчину  $\text{KMnO}_4$  і розбавили водою до 100 мл. Пропускання отриманих розчинів склало відповідно 86,4; 74,7; 64,5;

55,7; 47,0 і 42,5 %. Наважку сталі 0,5 г розчинили та після окислення марганцю до перманганату калію розбавили водою до 50 мл. Пропускання отриманого забарвленого розчину склало 55,5 %. Визначить вміст марганцю в сталі (%).

10. Для побудови калібрувального графіка при визначенні вмісту міді (II) в розчині були отримані наступні дані:

Вміст міді, мг/л	0,1	0,2	0,5	0,75	1,0
$\tau$ , %	67,5	57,0	34,5	28,5	15,0

Визначить вміст міді (II) в досліджуваному розчині, якщо пропускання його дорівнює 45,5 %.

11. Молярний коефіцієнт поглинання комплексу заліза (III) з сульфосаліциловою кислотою при довжині хвилі  $\lambda = 416$  нм дорівнює 4 500. Визначить, яку наважку  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  потрібно розчинити в 50 мл води, щоб з 5 мл цього розчину (після відповідної обробки й розведення до 25 мл) був отриманий забарвлений розчин, оптична густина якого в кюветі товщиною 1 см дорівнює 1,2.

12. Для побудови калібрувального графіка при визначенні вмісту заліза (III) в руді у вигляді роданідного комплексу були отримані наступні дані:

Вміст $\text{Fe}^{3+}$ , мг/мл	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
$D$	0,15	0,29	0,43	0,61	0,74	0,90

Наважку руди 0,253 г розчинили в кислоті і після відповідної обробки отримали 100 мл забарвленого розчину роданіду заліза (III), оптична густина якого 0,56. Визначить вміст заліза (III) в руді (%).

13. Коефіцієнт молярного поглинання свинцю (IV) з дитизоном при  $\lambda = 485$  нм дорівнює 68 000. Чому дорівнює оптична густина розчину, що містить 3 мкг  $\text{PbO}_2$  в 5 см<sup>3</sup> при вимірюванні в кюветі товщиною 1 см? Яке пропускання цього розчину?

14. При фотометричному визначенні заліза (III) у воді за реакцією з сульфосаліциловою кислотою для стандартних розчинів заліза (III) були отримані наступні дані:

Вміст заліза, %	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\tau$ , %	100	87,5	77,5	68,5	59,0	52,5

Визначить вміст заліза у воді, якщо пропускання розчину, що досліджують 72 %.

15. Титан (IV) утворює з пероксидом водню в кислому середовищі комплексний йон жовтого кольору. При цьому оптична густина розчину, що містить 1 мг титану в 50 мл, дорівнює 0,27 при товщині кювети 2 см. Розрахуйте молярний коефіцієнт поглинання пероксидного комплексу титану.

16. Молярний коефіцієнт поглинання забарвленого комплексу нікелю (II) з  $\alpha$ -бензоїлдіоксимом при довжині хвилі 406 нм дорівнює 12 000. Розрахуйте мінімальну концентрацію нікелю (в мг/мл), яка може бути визначена фотометричним методом у кюветі товщиною 5 см, якщо мінімальна оптична густина, що фіксується приладом, дорівнює 0,02.

17. При фотометричному визначенні нікелю (II) були приготовлені стандартні розчини  $\text{NiSO}_4$  і виміряні їх оптичні густини:

$c(\text{Ni})$ , моль/л	0,5	1,0	1,5	2,0
$D$	0,231	0,465	0,690	0,940

Побудуйте графік залежності оптичної густини від концентрації; визначить вміст нікелю у воді, якщо оптична густина проби води дорівнює 0,54. Вміст нікелю визначить в моль/л і мг/л.

18. Пропускання розчину  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  з концентрацією 4,48 мкг/мл, виміряне в кюветі товщиною 1 см при 520 нм, дорівнює 30,9 %. Розрахуйте молярний коефіцієнт поглинання  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

19. Для визначення вмісту кобальту в технічному зразку, наважку зразка масою 0,4250 г розчинили в мірній колбі місткістю 100 мл. Оптична густина цього розчину 0,446 при товщині кювети 1 см і молярному коефіцієнті поглинання  $3,64 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Розрахуйте масову частку кобальту в технічному зразку.

20. Для визначення нікелю з диметилгліоксимом наважку сталі розчинюють й розводять розчин до 100,0 мл. До 5,00 мл розчину додають необхідні реактиви, розводять водою до 50,00 мл і фотометрують при  $l = 1,0$  см,  $\lambda = 470$  нм,  $\varepsilon = 1,30 \cdot 10^4$ . Розрахуйте масу наважки сталі для аналізу, якщо оптимальне значення оптичної густини 0,435, а масова частка нікелю в сталі дорівнює 0,5 %.

21. Для визначення заліза (III) в концентрованій сульфатній кислоті у вигляді сульфосаліцилату наважку розміщують в колбу на 100,0 мл, додають необхідні реактиви й доводять водою до позначки. Вимірюють оптичну густина при  $\lambda = 420$  нм ( $\varepsilon = 6,0 \cdot 10^3$ ) в кюветі товщиною 1 см. Розрахуйте масу наважки кислоти, якщо оптимальне значення оптичної густини 0,435, а масова частка заліза (III) дорівнює 0,01 %.



22. Для визначення міді в кольоровому сплаві з наважки 0,300 г після розчинення і обробки аміаком було отримано 250 мл забарвленого розчину аміакату міді (II), оптична густина якого в кюветі товщиною 1 см була 0,250. Визначить вміст міді в сплаві (%), якщо молярний коефіцієнт поглинання аміакату міді дорівнює 400.

23. Молярний коефіцієнт поглинання дитизонату міді (II) у  $\text{CCl}_4$  при 550 нм дорівнює  $4,52 \cdot 10^4$ . Яку масову частку (%) міді можна визначити з дитизоном, якщо з наважки зразка сплаву масою 1,0 г отримують 25 мл розчину дитизонату міді в  $\text{CCl}_4$ , оптична густина якого 0,02 при товщині кювети 5 см?

24. Пропускання розчину з концентрацією речовини 3,2 мг  $\text{Al}^{3+}$  у  $100 \text{ см}^3$  розчину при 480 нм у кюветі товщиною 2 см дорівнює 35 %? Розрахуйте молярний коефіцієнт поглинання цієї речовини.

25. Молярний коефіцієнт світлопоглинання дитизонату міді (II) в тетрахлориді карбону при  $\lambda = 550 \text{ нм}$  дорівнює  $\varepsilon = 4,52 \cdot 10^4$ . Яку масову частку (%) міді можна визначити з дитизоном, якщо з наважки зразку сплаву масою 1,00 г одержують 25,00 мл розчину дитизонату, вимірюють мінімальну оптичну гуστину 0,020 в кюветі  $l = 5,0 \text{ см}$ ?

## 2 РЕФРАКТОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

**Приклад 1.** Визначить молярну концентрацію розчину ацетону ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) в розчині показник заломлення якого при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  дорівнює 1,3477, а густина розчину становить  $0,941 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення чистої води при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  дорівнює 1,3333, стандартних 10 % і 30 % розчинів ацетону відповідно – 1,3403 і 1,3537. Залежність  $n_D$  від концентрації лінійна.

**Розв'язання.** Залежність показника заломлення  $n$  від концентрації ацетону в розчині  $\omega$  має лінійний характер:

$$n = n_0 + k\omega,$$

де  $n_0$  – показник заломлення чистого води;

$\omega$  – концентрація ацетону в розчині, %;

$k$  – емпіричний коефіцієнт.

$$\omega = \frac{n - n_0}{k}.$$

Для того, щоб розрахувати  $k$ , запишемо рівняння залежності показника заломлення  $n$  від концентрації ацетону в стандартних розчинах:

$$n_{\text{ст1}} = n_0 + k\omega_{\text{ст1}},$$

$$n_{\text{ст2}} = n_0 + k\omega_{\text{ст2}},$$

$$k = \frac{n_{\text{ст}2} - n_{\text{ст}1}}{\omega_{\text{ст}2} - \omega_{\text{ст}1}},$$

де  $\omega_{\text{ст}1}$  і  $\omega_{\text{ст}2}$  – концентрація ацетону в стандартних розчинах 1 і 2 відповідно,  
 $n_{\text{ст}1}$  і  $n_{\text{ст}2}$  – показники заломлення стандартних розчинів 1 і 2 відповідно.

$$k = \frac{1,3537 - 1,3403}{30 - 10} = 0,00067.$$

Тоді концентрація ацетону в досліджуваному розчині:

$$\omega = \frac{1,3477 - 1,3333}{0,00067} = 21,5\%$$

Розрахуємо молярну концентрацію ацетону в досліджуваному розчині:

$$c(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})}{M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}) \cdot V_{\text{р-ну}}}.$$

Якщо  $m_{\text{р-ну}} = 100$  г, то  $m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}) = 21,5$  г, а  $V_{\text{р-ну}} = m_{\text{р-ну}}/\rho_{\text{р-ну}} = 100/0,941 = 106,3$  мл = 0,1063 л.

$$c(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}) = \frac{21,5}{58 \cdot 0,1063} = 3,49 \text{ моль/л,}$$

де  $M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})$  – молярна маса ацетону, що дорівнює 58 г/моль.

### Контрольні задачі

1. Для визначення складу водних розчинів пропанолу-1 ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ) були виміряні показники заломлення стандартних розчинів пропанолу-1 при 20 °С:

Вміст пропанолу, %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,3333	1,3422	1,3515	1,3579	1,3639

Визначить вміст пропанолу-1 в розчинах, показники заломлення яких 1,3478 й 1,3615. Розрахуйте молярну концентрацію пропан-1-олу в першому і другому розчинах, якщо їх густина дорівнює 0,980 і 0,935 г/см<sup>3</sup> відповідно.

2. Визначить молярну концентрацію розчину етиленгліколю ( $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ ), показник заломлення якого 1,3542, а густина розчину 1,0253 г/см<sup>3</sup>. Показник заломлення чистої води при 20 °С 1,3333, стандартних 10 %-вого і 50 %-вого розчинів етиленгліколю відповідно 1,3224 і 1,3728. Залежність  $n_D$  від концентрації лінійна.

3. Показник заломлення 19,25 % розчину оцтової (етанової) кислоти при 20 °С дорівнює 1,3468. Густина цього розчину  $\rho = 1,023$  г/см<sup>3</sup>. Визначить молярну концентрацію оцтової кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3385, приймаючи до уваги, що між концентрацією оцтової кислоти і

показником заломлення в цьому інтервалі концентрацій має місце лінійна залежність. Показник заломлення води при 20 °С 1,3330.

4. При 20 °С показник заломлення 10 %-вого і 20 %-вого водних розчинів сахарози ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) дорівнюють 1,3478 і 1,3638 відповідно. Визначить молярну концентрацію сахарози в розчині, показник заломлення якого 1,3557, приймаючи до уваги, що між концентрацією сахарози і показником заломлення в цьому інтервалі концентрацій має місце лінійна залежність. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,075 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення води дорівнює 1,3330.

5. Для визначення складу водно-ацетонових розчинів були виміряні показники заломлення стандартних водних розчинів ацетону (пропанон-2,  $C_3H_6O$ ) різної концентрації:

Вміст ацетону, %	10	20	30	40	50
$n_D$	1,3403	1,3477	1,3537	1,3584	1,3624

За калібрувальним графіком визначить вміст ацетону в розчині, показник заломлення якого становить 1,3500. Складіть математичне рівняння залежності показника заломлення ацетону від концентрації.

6. Виходячи з того, що між показником заломлення і концентрацією існує лінійна залежність, визначить молярну концентрацію гліцерину (пропантриол – 1,2,3,  $C_3O_3H_8$ ) у воді, якщо показник заломлення цього розчину дорівнює 1,3575, показник заломлення стандартного 40 %-вого розчину гліцерину – 1,3841, а показник заломлення води – 1,3330. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,047 \text{ г/см}^3$ .

7. Для визначення складу водних розчинів метанолу ( $CH_3OH$ ) були виміряні показники заломлення стандартних водних розчинів метанолу різної концентрації:

Вміст спирту, %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,3333	1,3353	1,3381	1,3404	1,3419

За калібрувальним графіком визначить вміст метанолу в розчинах, показники заломлення яких 1,3375 і 1,3410. Складіть математичне рівняння залежності показників заломлення метанолу від концентрації.

8. При 17 °С показник заломлення розчину, що містить 60 г натрій карбонату в 1000 мл водного розчину, дорівнює 1,3456. Визначить процентний вміст натрій карбонату в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3432.

Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення води дорівнює 1,3325. Залежність між показником заломлення і концентрацією вважати лінійною.

9. Для побудови калібрувального графіка при рефрактометричному визначенні гліцерину (пропантриол-1,2,3,  $\text{C}_3\text{O}_3\text{H}_8$ ) відміряні наступні об'єми води й гліцерину і визначені показники заломлення одержаних сумішей:

Об'єм води, мл	10	8	6	4	2	0
Об'єм гліцерину, мл	0	2	4	6	8	10
$n_D$	1,3330	1,3627	1,3915	1,4211	1,4484	1,477

Побудуйте калібрувальний графік залежності показника заломлення від вмісту гліцерину (ваг. %), якщо густина гліцерину  $\rho = 1,26 \text{ г/см}^3$ . Визначте вміст гліцерину в сумішах, показники заломлення яких дорівнюють 1,4050 і 1,4580.

10. Показник заломлення 18 % розчину пропіонової (пропанової) кислоти ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ ) при  $20^\circ\text{C}$  дорівнює 1,3584. Визначить молярну концентрацію пропіонової кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3427 (густина розчину  $\rho = 1,08 \text{ г/см}^3$ ), приймаючи, що між концентрацією пропіонової кислоти й показником заломлення існує лінійна залежність. Показник заломлення води 1,3333.

11. Визначте молярну концентрацію КОН у водному розчині, показник заломлення якого при  $17,5^\circ\text{C}$  дорівнює 1,3447. Показник заломлення стандартного розчину, який містить 80 г КОН в  $1 \text{ дм}^3$  розчину, дорівнює 1,3480. Показник заломлення води при  $20^\circ\text{C}$  1,3330. Залежність показника заломлення від концентрації можна вважати лінійною.

12. Показник заломлення 40 %-вого розчину оцтової (етанової) кислоти при  $20^\circ\text{C}$  дорівнює 1,3599. Визначить молярну концентрацію оцтової кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3473 приймаючи до уваги, що між концентрацією оцтової кислоти й показником заломлення в цьому інтервалі концентрацій має місце лінійна залежність. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,026 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення чистої води при  $20^\circ\text{C}$  дорівнює 1,3330.

13. Для визначення складу водно-гексанових розчинів були виміряні показники заломлення стандартних розчинів гексану у воді:

Вміст гексану, %	10	20	30	40	50
$n_D$	1,3340	1,3410	1,3485	1,3550	1,3610

Визначить вміст гексану у воді (% і мг/л), якщо показник заломлення розчину, що досліджують, дорівнює 1,3460, а густина розчину  $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ .

14. Показники заломлення 10 % і 40 % розчинів гліцерину (пропантриол-1,2,3,  $\text{C}_3\text{O}_3\text{H}_8$ ) у воді дорівнюють 1,3448 і 1,3841 відповідно. Розрахуйте молярну концентрацію гліцерину у воді, якщо показник заломлення його розчину дорівнює 1,3575, а густина розчину  $\rho = 1,047 \text{ г/см}^3$ . Залежність показника заломлення від концентрації вважати лінійною.

15. Показник заломлення 10 % розчину бутанової кислоти ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ ) при  $20^\circ\text{C}$  дорівнює 1,3475. Визначить молярну концентрацію бутанової кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3405, густина розчину  $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення води при  $20^\circ\text{C}$  дорівнює 1,3333. Залежність показника заломлення від концентрації вважати лінійною.

16. Для визначення складу суміші вода – оксалатна (етандіова) кислота ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) були виміряні такі показники заломлення стандартних розчинів:

Вміст оксалатної кислоти, %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,3333	1,3431	1,3523	1,3591	1,3652

За калібрувальним графіком визначить вміст оксалатної кислоти у водному розчині (%), показник заломлення якого дорівнює 1,3500. Густина цього розчину  $\rho = 1,048 \text{ г/см}^3$ . Складіть математичне рівняння залежності показника заломлення оксалатної кислоти від концентрації.

17. Показник заломлення 20 % розчину янтарної (бутандіової) кислоти ( $\text{C}_4\text{O}_4\text{H}_6$ ) дорівнює 1,3582. Визначить молярну концентрацію янтарної кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3392, приймаючи до уваги, що між концентрацією янтарної кислоти й показником заломлення в цьому інтервалі концентрацій має місце лінійна залежність. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,0520 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення чистої води при  $20^\circ\text{C}$  дорівнює 1,3330.

18. Для визначення складу водних розчинів бутанолу були виміряні показники заломлення стандартних розчинів:

Вміст спирту, %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,3333	1,3521	1,3632	1,3790	1,3802

Побудуйте калібрувальний графік і визначте вміст бутанолу в розчинах, показники заломлення яких дорівнюють 1,3640 і 1,3810 відповідно.

19. При 20 °С показник заломлення 20 % водного розчину фруктози (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) дорівнює 1,3275. Визначте молярну концентрацію фруктози в розчині, показник заломлення якого 1,3808, приймаючи до уваги, що між концентрацією фруктози й показником заломлення в цьому інтервалі концентрації має місце лінійна залежність. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,125 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення води дорівнює 1,3330.

20. Показник заломлення 40 % розчину сахарози (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) при 20 °С дорівнює 1,4016. Визначить молярну концентрацію сахарози в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,36385, приймаючи, що між концентрацією сахарози й показником заломлення в цьому інтервалі концентрації має місце лінійна залежність. Густина розчину, що досліджують  $\rho = 1,082 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення води дорівнює 1,3330.

21. Показник заломлення 20,3 % розчину мурашиної (метанової) кислоти (НСООН) при 20 °С дорівнює 1,3584. Визначить молярну концентрацію мурашиної кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3427 (густина розчину  $\rho = 1,023 \text{ г/см}^3$ ), приймаючи, що між концентрацією мурашиної кислоти і показником заломлення має місце лінійна залежність. Показник заломлення води дорівнює 1,3333.

22. Для визначення складу суміші вода – етанол при 20 °С були виміряні показники заломлення стандартних розчинів етанолу:

Вміст етанолу, %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,3333	1,3396	1,3470	1,3535	1,3580

Визначить вміст етанолу (% , мг/л) в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3508. Густина розчину  $\rho = 0,965 \text{ г/см}^3$ .

23. Показники заломлення 10 % і 40 % водних розчинів сахарози (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) у воді дорівнюють 1,3478 і 1,4016 відповідно. Розрахуйте молярну концентрацію сахарози у воді, якщо показник заломлення розчину дорівнює 1,3638, а густина розчину  $\rho = 1,081 \text{ г/см}^3$ . Залежність показника заломлення від концентрації вважати лінійною.

24. Для визначення вмісту етиленгліколю (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(ОН)<sub>2</sub>) у водному розчині при 20 °С були виміряні показники заломлення стандартних розчинів етиленгліколю:

Вміст етиленгліколю %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,33330	1,35242	1,35238	1,36253	1,37275

Визначить вміст етиленгліколю в розчинах, показники заломлення яких дорівнюють 1,34856 й 1,36456 відповідно. Розрахуйте молярну концентрацію етиленгліколю в першому і другому розчинах, якщо густина розчинів дорівнює 1,012 і 1,038 г/см<sup>3</sup> відповідно.

25. Показники заломлення 10 % і 20 % водних розчинів пропан-2-олу (C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>OH) у воді при 20 °С дорівнюють 1,3421 і 1,3512 відповідно. Розрахуйте молярну концентрацію пропан-2-олу у воді, якщо показник заломлення розчину дорівнює 1,3495, а густина розчину  $\rho = 0,9712$  г/см<sup>3</sup>. Залежність показника заломлення від концентрації вважати лінійною.

### 3 КОНДУКТОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

**Приклад 1.** Опір 0,05 н. розчину K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в комірці з електродами площею 2,54 см<sup>2</sup> і відстанню між ними 0,65 см дорівнює 56,1 Ом. Визначте еквівалентну електропровідність розчину K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Розрахунки здійсніть, використовуючи систему одиниць СІ.

**Розв'язання.** Розрахуємо питому електропровідність 0,05 н розчину K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:

$$\kappa = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{S} = \frac{0,65 \cdot 10^{-2}}{56,1 \cdot 2,54 \cdot 10^{-4}} = 0,456 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}.$$

Розрахуємо еквівалентну електропровідність розчину:

$$\lambda = \frac{\kappa}{c(1/2\text{K}_2\text{SO}_4) \cdot 1000} = \frac{0,456}{0,05 \cdot 1000} = 91,2 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}.$$

**Приклад 2.** Питома електропровідність 0,0109 н розчину NH<sub>4</sub>OH дорівнює 1,02 · 10<sup>-4</sup> Ом<sup>-1</sup> · см<sup>-1</sup>. Визначити ступінь і константу дисоціації NH<sub>4</sub>OH.

**Розв'язання.** Розрахуємо еквівалентну електропровідність розчину:

$$\lambda = \frac{\kappa \cdot 1000}{c_{\text{H}}(\text{NH}_4\text{OH})} = \frac{1,02 \cdot 10^{-4} \cdot 1000}{0,0109} = 9,358 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}.$$

Розрахуємо граничну еквівалентну електропровідність  $\lambda_0$  розчину за умови безмежного розведення, як суму граничних рухливостей йонів NH<sub>4</sub><sup>+</sup> і OH<sup>-</sup>, згідно з даними таблиці 1.3 додатку 1:

$$\lambda_0 = \lambda_{0+}(\text{NH}_4^+) + \lambda_{0-}(\text{OH}^-).$$

Для NH<sub>4</sub><sup>+</sup> йона  $\lambda_{0+}(\text{NH}_4^+) = 73,6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}$ ;

для OH<sup>-</sup> йона  $\lambda_{0-}(\text{OH}^-) = 198,3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}$ .

$$\lambda_0 = 73,6 + 198,3 = 271,9 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}.$$

Розрахуємо ступінь дисоціації  $\text{NH}_4\text{OH}$  за рівнянням:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{9,358}{271,9} = 0,034$$

Розрахуємо константу дисоціації  $\text{NH}_4\text{OH}$  за рівнянням:

$$K_{\text{д}}(\text{NH}_4\text{OH}) = \frac{c(\text{NH}_4\text{OH}) \cdot \alpha^2}{1 - \alpha},$$

де  $c(\text{NH}_4\text{OH})$  – молярна концентрація  $\text{NH}_4\text{OH}$  в розчині, моль/дм<sup>3</sup>;

Оскільки  $f_{\text{екв}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 1$ , то молярна концентрація тотожна молярній концентрації еквівалента. Таким чином, остаточно:

$$K_{\text{д}}(\text{NH}_4\text{OH}) = \frac{0,0109 \cdot (0,034)^2}{1 - 0,034} = 1,3 \cdot 10^{-5}.$$

### Контрольні задачі

Необхідні для розв'язання задач значення граничних рухливостей йонів ( $\lambda_{0+}$ ,  $\lambda_{0-}$ ) наведені в таблиці А.3 додатку А.

1. Опір 0,1 н розчину натрій хлориду в комірці з електродами площею  $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  і відстанню між ними 0,0075 м дорівнює 46,8 Ом. Визначить питому й еквівалентну електропровідність розчину натрій хлориду.

2. Еквівалентна електропровідність барій хлориду дорівнює  $123,94 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}$ . Визначте опір 0,01 н розчину барій хлориду, що заповнює кондуктометричну комірку, якщо площа електродів дорівнює  $0,865 \text{ см}^2$ , а відстань між ними становить 0,258 см.

3. При титруванні 100 мл розчину оцтової (етанової) кислоти 0,5 М розчином натрій гідроксиду були отримані наступні дані:

$V(\text{NaOH})$ , мл	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	15,0	17,0
$R$ , Ом	75,0	68,1	62,3	57,0	53,2	50,8	51,5	52,1

Визначить молярну й процентну концентрації оцтової кислоти в розчині. Густина розчину  $\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$ .

4. Опір 10 % розчину сульфатної кислоти в кондуктометричній комірці дорівнює 34,2 Ом. Розрахуйте питому й еквівалентну електропровідність цього розчину, якщо площа електродів становить  $5,25 \text{ см}^2$ , а відстань між ними дорівнює 0,65 см. Густина розчину  $\rho = 1,0198 \text{ г/см}^3$ .



5. При титруванні 50 мл розчину хлоридної кислоти 2 М розчином калій гідроксиду були отримані наступні дані:

Об'єм 2 М розчину КОН, мл	3,2	6,0	9,2	15,6	20,0	23,5
$\kappa \cdot 10^{-2}$ , Ом <sup>-1</sup> ·м <sup>-1</sup>	3,2	2,56	1,86	1,64	2,38	2,96

Визначте молярну й процентну концентрацію хлоридної кислоти в розчині. Густина розчину хлоридної кислоти  $\rho = 1,079$  г/см<sup>3</sup>.

6. Еквівалентна електропровідність  $1,03 \cdot 10^{-3}$  н розчину оцтової (етанової) кислоти при 25 °С дорівнює 48,1 Ом<sup>-1</sup>·см<sup>2</sup>·моль-екв<sup>-1</sup>. Визначить ступінь і константу дисоціації оцтової кислоти, якщо гранична еквівалентна електропровідність оцтової кислоти при нескінченному розведенні дорівнює 390,6 Ом<sup>-1</sup>·см<sup>2</sup>·моль-екв<sup>-1</sup>.

7. Величини питомої електропровідності водних розчинів фторидної кислоти наведені в таблиці:

Концентрація HF, моль/л	0,004	0,007	0,015	0,030	0,060	0,121	0,243
$\kappa \cdot 10^{-4}$ , Ом <sup>-1</sup> ·см <sup>-1</sup>	2,5	3,8	5,0	8,0	12,3	21	36

Побудуйте графік залежності питомої електропровідності від концентрації. Визначте за графіком молярну концентрацію HF в розчині, питома електропровідність якого дорівнює  $11 \cdot 10^{-4}$ , Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>. Скільки грамів HF містить 1 м<sup>3</sup> стічної води?

8. Питома електропровідність 0,05 М розчину оцтової (етанової) кислоти дорівнює  $3,24 \cdot 10^{-4}$ , Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>. Розрахуйте ступінь і константу дисоціації оцтової кислоти, а також рН цього розчину. Гранична еквівалентна електропровідність цього розчину за умови нескінченного розведення дорівнює 347,8 Ом<sup>-1</sup>·см<sup>2</sup>·моль-екв<sup>-1</sup>.

9. Розрахуйте питомий опір розчину сульфатної кислоти з титром 0,245 г/см<sup>3</sup>, якщо були отримані наступні дані:

$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)$ , моль/л	2	4	6	8	10
$\kappa \cdot 10^{-2}$ , Ом <sup>-1</sup> ·см <sup>-1</sup>	7,90	10,55	12,40	13,40	12,51

10. Розрахуйте константу дисоціації амоній гідроксиду, якщо еквівалентна електропровідність  $8 \cdot 10^{-3}$  М розчину амоній гідроксиду дорівнює  $12,4 \cdot 10^{-4}$  Ом<sup>-1</sup>·м<sup>2</sup>·моль-екв<sup>-1</sup>.

11. Визначте еквівалентну електропровідність розчину хлоридної кислоти з масовою часткою 9 % (густина розчину  $\rho = 1,042 \text{ г/см}^3$ ), за наступними даними:

$c(\text{HCl}), \text{ моль/л}$	1	2	4	6	8	10
$\kappa \cdot 10^{-2}, \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	8,72	10,81	13,00	14,32	13,4	10,85

12. Залежність електропровідності розчинів натрій хлориду від концентрації характеризується наступними даними:

$\omega, \%$	5	10	20	25
$W, \text{ Ом}^{-1}$	0,0430	0,0779	0,1255	0,1340

Побудуйте графік залежності  $W = f(\omega)$ . Визначить молярну й процентну концентрації натрій хлориду в розчині; електропровідність якого дорівнює  $0,065 \text{ Ом}^{-1}$ , густина розчину  $\rho = 1,07 \text{ г/см}^3$ .

13. При кондуктометричному титруванні  $2,5 \text{ см}^3$  кальцій ацетату  $1,5 \text{ н}$  розчином натрій оксалату отримані наступні дані:

$V(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4), \text{ см}^3$	0,5	1,0	2,0	3,5	4,0	5,0
$W \cdot 10^{-2}, \text{ Ом}^{-1}$	2,51	2,50	2,49	3,18	3,75	5,10

Визначте молярну й процентну концентрації кальцій ацетату, густина розчину  $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ .

14. При кондуктометричному титруванні  $50 \text{ см}^3$  суміші хлоридної та оцтової (етанової) кислот  $1 \text{ М}$  розчином калій гідроксиду отримані наступні результати:

$V(\text{KOH}), \text{ см}^3$	0,5	1,0	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0
$W \cdot 10^{-2}, \text{ Ом}^{-1}$	4,0	3,21	1,85	1,0	1,22	1,48	1,50	1,51	1,50

За графіком знайдіть точки еквівалентності і визначить концентрації (г/л) кислот у суміші.

15. При кондуктометричному титруванні  $3,0 \text{ см}^3$  натрій сульфату  $0,1 \text{ М}$  розчином барій ацетату одержано наступну залежність між електропровідністю розчину  $W$  й об'ємом доданого титранту  $V$ :

$V(\text{титранта}), \text{ см}^3$	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$W \cdot 10^{-2}, \text{ Ом}^{-1}$	4,0	3,21	1,85	1,15	2,50	3,56

За графіком визначить вміст сульфату натрію (моль/л, мг/л).

16. Для водного розчину калій хлориду одержано наступну залежність питомої електропровідності розчину від масової частки солі:

$\omega(\text{KCl}), \%$	5	10	15	20	25
$\kappa, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	0,092	0,180	0,260	0,336	0,402

Побудуйте графік і визначте молярну концентрацію KCl в розчині, питома електропровідність якого дорівнює  $0,22 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Густина розчину  $\rho = 1,02 \text{ г/см}^3$ .

17. Обчисліть опір розчину нітратної кислоти (Ом), якщо площа електродів дорівнює  $1,12 \text{ см}^2$ , відстань між електродами –  $0,65 \text{ см}$ , питома електропровідність становить  $0,015 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ .

18. Залежність електропровідності розчинів кальцій хлориду від концентрації характеризується наступними даними:

$\omega, \%$	10	20	30
$W, \text{Ом}^{-1}$	0,0748	0,1077	0,1150

Побудуйте графік залежності  $W = f(\omega)$ . Визначте молярну й процентну концентрації кальцій хлориду в розчині; електропровідність якого  $0,095 \text{ Ом}^{-1}$ , густина розчину  $\rho = 1,065 \text{ г/см}^3$ .

19. Визначить значення еквівалентної електропровідності 5 % розчину магній нітрату (густина розчину  $\rho = 1,038 \text{ г/см}^3$ ) при  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ , якщо питома електропровідність цього розчину дорівнює  $4,38 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ .

20. При вимірюванні питомої електропровідності розчинів  $\text{CaCl}_2$  були отримані наступні дані:

$\omega(\text{CaCl}_2), \%$	0,5	2,5	5	7,5	10
$\kappa \cdot 10^{-3}, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	7,0	2,92	1,80	1,28	0,94

Побудуйте графік і знайдіть молярну концентрацію еквівалента  $\text{CaCl}_2$  в розчині, питома електропровідність якого дорівнює  $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Густина цього розчину  $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ .

21. При кондуктометричному титруванні  $0,05 \text{ М}$  розчину натрій сульфату  $0,8 \text{ М}$  розчином барій гідроксиду одержані наступні дані:

$V(\text{Ba}(\text{OH})_2), \text{см}^3$	1	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$W \cdot 10^{-2}, \text{Ом}^{-1}$	2,51	2,50	2,49	3,18	3,75	5,10

Побудувати графік і визначити об'єм натрій сульфату, що взяли для аналізу.

22. Визначить питому електропровідність 0,01 М розчину оцтової (етанової) кислоти, якщо її константа дисоціації дорівнює  $1,74 \cdot 10^{-5}$ .

23. 2,5381 г проби, що містить натрій гідроксид та анілін, внесли до мірної колби на 100 мл, довели до позначки дистильованою водою, відібрали 15 мл і провели кондуктометричне титрування 0,1 М розчином HCl, результати якого наведені в таблиці:

$V(\text{HCl}), \text{мл}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
$\kappa \cdot 10^{-5}, \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	6,64	5,97	5,21	4,48	3,71	3,68	3,82	4,06	4,25	4,50	4,68	5,30	5,95	6,63	7,28	7,91

Визначить масову частку натрій гідроксиду і аніліну ( $M_{\text{екв.}} = 93 \text{ г/моль}$ ) в пробі.

24. Еквівалентна електропровідність 0,01 н розчину натрій сульфату дорівнює  $163,5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль-екв.}^{-1}$ . Розрахуйте опір розчину, якщо площа електродів дорівнює  $1,2485 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ , а відстань між ними становить  $4,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

25. Для різних концентрацій NaOH у воді отримали відповідні еквівалентні електропровідності розчинів:

$c(\text{NaOH}), \text{моль/л}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5
$\lambda, \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв.}^{-1}$	219	213	206	203	197

Визначить масову частку NaOH в розчині, питома електропровідність якого дорівнює  $0,045 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ , а густина розчину дорівнює  $1,008 \text{ г/см}^3$ .

#### 4 ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

**Приклад 1.** Обчислити потенціал мідного електроду в 0,1 М розчині купрум (II) хлориду при 30 °С.

**Розв'язання.** Потенціал мідного електрода розраховують за рівнянням Нернста:

$$\varphi_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}} = \varphi_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}}^0 + \frac{2,3RT}{zF} \lg[\text{Cu}^{2+}],$$

де  $\varphi_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}}^0$  – стандартний електродний потенціал, В;

$R$  – універсальна газова стала ( $8,314 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ );

$T$  – абсолютна температура, К;

$F$  – стала Фарадея ( $96500 \text{ Кл/моль}$ );

$z$  – кількість електронів, які беруть участь в електродній реакції;

$[\text{Cu}^{2+}]$  – молярна концентрація йонів  $\text{Cu}^{2+}$ , моль/л.

Величина  $\frac{2,3RT}{F}$  при  $30\text{ }^\circ\text{C}$  дорівнює 0,060;  $\varphi_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}}^0 = 0,34\text{ В}$  (табл. А.4,

додаток А).

$$\varphi_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}} = 0,337 + \frac{0,060}{2} \lg 0,1 = 0,337 + 0,030(-1) = 0,337 - 0,03 = 0,307\text{ В}$$

**Приклад 2.** Розрахуйте потенціал цинкового електроду, зануреного при  $25\text{ }^\circ\text{C}$  у розчин цинк сульфату, відносно насиченого хлоридсрібного електроду, якщо в 100 мл розчину міститься 1,6150 г  $\text{ZnSO}_4$ .

**Розв'язання.** Величина потенціалу одного електроду відносно другого є електрорушійною силою (ЕРС) гальванічного елемента ( $E$ ), що визначається як різниця потенціалів цих електродів.

Отже, для елемента, що складений з цинкового й хлоридсрібного електродів,  $E$  слід розраховувати за формулою

$$E = \varphi_{\text{Cl}|\text{AgCl}|\text{Ag}} - \varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}},$$

де  $\varphi_{\text{Cl}|\text{AgCl}|\text{Ag}}$  – потенціал хлоридсрібного електроду (електрод порівняння) є величиною сталою і дорівнює при  $25\text{ }^\circ\text{C}$   $+0,222\text{ В}$  [4];

$\varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}}$  – потенціал цинкового електроду, В.

$$\varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}} = \varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}}^0 + \frac{2,3RT}{zF} \lg[\text{Zn}^{2+}]$$

Для визначення потенціалу цинкового електроду  $\varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}}$  розрахуємо рівноважну молярну концентрацію йонів  $\text{Zn}^{2+}$  у розчині за наступним рівнянням

$$[\text{Zn}^{2+}] = c(\text{ZnSO}_4) = \frac{m(\text{ZnSO}_4)}{M(\text{ZnSO}_4) \cdot V_{\text{р-ну}}} = \frac{1,6150}{161,5 \cdot 0,1} = 0,1\text{ моль/л},$$

де  $m(\text{ZnSO}_4)$  – маса  $\text{ZnSO}_4$ , г;

$M(\text{ZnSO}_4)$  – молярна маса  $\text{ZnSO}_4$ , що дорівнює 161,5 г/моль;

$V_{\text{р-ну}}$  – об'єм розчину,  $\text{дм}^3$ .

$$\varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}} = -0,763 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-1} = -0,763 - 0,0295 = -0,7925\text{ В}.$$

$$E = 0,222 - (-0,7925) = 1,0145\text{ В}.$$

## Контрольні задачі

Необхідні для розв'язання задач значення стандартних електродних потенціалів наведені у таблиці А.4 додатку А.

1. Різниця потенціалів між водневим електродом і насиченим каломельним електродом становить 0,435 В при 25 °С. Визначить рН розчину, якщо електродний потенціал насиченого каломельного електроду дорівнює 0,2415 В.

2. При потенціометричному титруванні 50 мл оцтової (етанової) кислоти 0,1 н розчином NaOH отримані такі дані:

$V(\text{NaOH}), \text{мл}$	0	10	25	40	49	49,9	50	50,1	51	60	75
pH	2,88	4,16	4,76	5,36	6,45	7,46	8,73	10,0	11,0	12,0	12,3

Розрахуйте концентрацію оцтової кислоти (моль/л і г/л).

3. ЕРС ланцюга  $\text{Pt} | \text{H}_2 | \text{CH}_3\text{COOH} || 0,1 \text{ M KCl} | \text{Hg}_2\text{Cl}_2 | \text{Hg}$  при 30 °С дорівнює 0,498 В. Визначте рН розчину, якщо електродний потенціал каломельного електроду дорівнює 0,3365 В.

4. Розчин HCl, що аналізують, помістили в мірну колбу на 100 мл і дистильованою водою довели рівень рідини до позначки. 20 мл цього розчину відтитрували потенціометричним методом 0,1 М розчином NaOH. Побудуйте криві титрування в координатах  $\text{pH} = f(V)$  і  $\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V} = f(V)$ , визначить масу HCl у вихідному розчині (г) за такими даними:

$V(\text{NaOH}), \text{мл}$	1,30	1,50	1,60	1,65	1,68	1,70	1,72	1,74	1,80
pH	1,78	3,03	3,34	3,64	4,03	6,98	9,96	10,36	10,66

5. Розрахуйте потенціал срібного електрода, зануреного в розчин, що містить 0,2 моль  $\text{AgNO}_3$  в  $500 \text{ см}^3$  розчину, відносно насиченого хлоридсрібного електрода, потенціал якого при 25 °С дорівнює 0,2224 В.

6. Розрахуйте потенціал залізного електрода при 25 °С, зануреного в розчин залізного купоросу  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (маса солі 20,5 г, об'єм розчину 100 мл) відносно каломельного електрода (0,1 н KCl), потенціал якого 0,3365 В.

7. Розчин HCl, що аналізують, помістили в мірну колбу на 100 мл і дистильованою водою довели рівень рідини до позначки. Аліквоту об'ємом 20 мл відтитрували потенціометрично 0,1 М розчином NaOH. Побудуйте криву титрування в координатах  $\text{pH} = f(V)$  і  $\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V} = f(V)$ , визначити масу HCl в розчині (г) за такими даними:

$V(\text{NaOH}), \text{мл}$	1,5	1,80	1,90	1,95	1,98	2,00	2,02	2,05	2,10
pH	2,64	3,05	3,36	3,64	4,05	6,98	9,95	10,53	10,65

8. Проба води містить нітрат-іони. Для їх визначення склали гальванічний елемент з індикаторного нітрат-селективного електрода й хлоридсрібного електрода порівняння. Виміряли електрорушійну силу ( $E$ ) п'яти стандартних розчинів з відомою концентрацією нітрат-іонів і отримали наступні результати:

$c(\text{NO}_3^-)$ , моль/л	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
$E$ , мВ	330	275	225	170	120

В тих же умовах виміряли  $E$  проби води – вона дорівнює 250 мВ. Методом градуувального графіка визначити вміст нітрат-іонів (моль/л, мг/л) у воді.

9. Розрахуйте потенціал платинового електрода, зануреного в розчин  $\text{FeSO}_4$ , на 99 % відтитрованого  $\text{KMnO}_4$ , якщо стандартний електродний потенціал пари  $\text{Fe}^{3+}|\text{Fe}^{2+}$  дорівнює 0,771 В, температура 25 °С.

10. 1,0344 г препарату, що містить дикумарин (молярна маса дорівнює 336,30 г/моль;  $f_{\text{екв.}} = 1/2$ ), розчинили в 25 мл піридину і провели потенціометричне титрування 0,1024 М розчином  $\text{NaOH}$ . При цьому використовували скляний і насичений хлоридсрібний електроди. Отримали наступні результати:

$V(\text{NaOH})$ , мл	17,0	18,0	19,0	19,4	19,6	19,8	20,0	20,2	20,4	20,6	20,8	21,0	22,0
$E$ , мВ	42	24	-6	-14	-27	-31	-42	-61	-124	-168	-176	-182	-190

Обчисліть масову частку дикумарину в препараті.

11. Із мірної колби об'ємом 100 мл, що містить суміш хлоридної і оцтової (етанової) кислот, відібрали аліквотну частину об'ємом 20 мл і відтитрували потенціометричним методом 0,1012 М розчином  $\text{NaOH}$ . На кривій титрування спостерігали два стрибка потенціалу: при  $V_1 = 18,96$  мл і  $V_2 = 21,83$  мл. Розрахуйте вміст кислот (мг) у мірній колбі.

12. 25 мл розчину хлоридної кислоти розбавили дистильованою водою до 100 мл. 20 мл цього розчину відтитрували потенціометричним методом 0,1 М розчином натрій гідроксиду і отримали наступні результати:

$V(\text{NaOH})$ , мл	18	19	19,9	20,0	20,1	21,0	22,0
pH	2,28	2,59	3,60	7,00	10,60	1,49	11,68

Визначить молярну концентрацію хлоридної кислоти у вихідному розчині.

13. Розрахуйте потенціал алюмінієвого електрода в розчині, що містить 13,35 г алюміній хлориду в 500 мл розчину, відносно водневого електрода й насиченого хлоридсрібного електрода, потенціал якого при 25 °С дорівнює 0,2224 В.

14. Побудуйте криву потенціометричного титрування в координатах  $\text{pH} = f(V)$  і  $\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V} = f(V)$ , визначить концентрацію  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (г/л), якщо при титруванні 10 мл цієї кислоти 0,1 М КОН отримали наступні результати:

$V(\text{KOH}), \text{мл}$	15	18	19	19,5	19,9	20	20,1	20,5	21
pH	5,22	5,71	6,04	6,35	7,05	8,79	10,52	11,22	11,51

15. ЕРС ланцюга  $\text{Pt} | \text{H}_2 | \text{H}_3\text{BO}_3 || 1 \text{ М КСл} | \text{Hg}_2\text{Cl}_2 | \text{Hg}$  при 25 °С дорівнює 0,594 В. Визначить рН розчину, якщо електродний потенціал каломельного електрода дорівнює +0,2828 В.

16. 20 мл розчину метиламіну ( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ) помістили в мірну колбу на 100 мл і дистильованою водою довели рівень рідини до позначки. 10 мл цього розчину в потенціометричний спосіб відтитрували 0,1 М розчином  $\text{HCl}$  і отримали наступні результати:

$V(\text{HCl}), \text{мл}$	10,0	12,	14,0	14,5	14,9	15,0	15,1	15,5	16,0
pH	10,4	10,12	9,56	9,28	8,42	6,02	3,52	2,85	2,55

Побудуйте криву потенціометричного титрування в координатах  $\text{pH} = f(V)$  і  $\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V} = f(V)$ , визначить концентрацію метиламіну (моль/л) у вихідному розчині.

17. Платиновий електрод, занурено в розчин, що містить 15,8 г  $\text{KMnO}_4$  і 2,23 г  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  в 0,5  $\text{дм}^3$  розчину;  $\text{pH} = 1$ . Розрахуйте потенціал платинового електрода відносно стандартного водневого електрода. Рівняння електродного потенціалу окисно-відновного електрода за температури 25 °С має вигляд:

$$\varphi_{\text{MnO}_4^-|\text{Mn}^{2+}} = 1,507 + 0,012 \lg \frac{[\text{MnO}_4^-]}{[\text{Mn}^{2+}]} - 0,095 \text{pH}.$$

18. Наважку  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  масою 0,2812 г розчинили в мірній колбі місткістю 50 мл і довели об'єм розчину до позначки льодяною оцтовою кислотою. При потенціометричному титруванні 5 мл цього розчину перхлоратною кислотою ( $\text{HClO}_4$ ) у безводній оцтовій кислоті були отримані наступні результати:

$V(\text{HClO}_4), \text{мл}$	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,4
$E, \text{мВ}$	431	439	450	465	490	523	550	566	576

Розрахуйте молярну концентрацію еквіваленту  $\text{HClO}_4$ .



19. Наважку срібного сплаву масою 2,157 г розчинили і після відповідної обробки довели об'єм розчину до 100 мл. У результаті потенціометричного титрування 25 мл цього розчину 0,12 М розчином NaCl отримали наступні дані:

$V(\text{NaCl}), \text{мл}$	16,0	18,0	19,0	19,5	19,9	20,0	20,10	20,50	21,0
$E, \text{мВ}$	689	670	652	634	594	518	440	401	383

Побудуйте криві потенціометричного титрування в координатах  $E = f(V)$  і  $\frac{\Delta E}{\Delta V} = f(V)$ , визначить масову частку (%) срібла в сплаві.

20. Розрахуйте потенціал кадмієвого електрода, зануреного в 0,05 н розчин кадмій (II) нітрату, відносно водневого й хлоридсрібного електродів при 25 °С.

21. При потенціометричному титруванні 50 мл натрій гідроксиду 0,1 М розчином хлоридної кислоти одержані наступні дані:

$V(\text{HCl}), \text{мл}$	0	10	20	30	40	49	49,9	50	50,1	51	60	70
pH	13	12,9	12,7	12,5	12,3	11	10	7	4	3	2	1,8

Побудуйте криві титрування в координатах  $\text{pH} = f(V)$  і  $\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V} = f(V)$ , визначить концентрацію NaOH (моль/л, г/л).

22. Розрахуйте вміст хрому в сталі (%) за результатами потенціометричного титрування, якщо в наважці сталі масою 2,5 г хром окиснили до хроматної кислоти ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ), а потім відтитрували 0,103 н розчином ферум (II) сульфату.

$V, \text{мл}$	0	5,0	10,0	20,0	30,0	35,0	36,0	37,0	37,5	38,0	38,3	38,4	39,0	43,0	45,0
$E, \text{В}$	0,65	0,70	0,800	0,820	0,860	0,879	0,885	0,887	0,887	0,885	0,884	0,505	0,495	0,480	0,470

23. Розрахуйте потенціал водневого електрода, зануреного в 20 см<sup>3</sup> 0,1 М розчину  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , при титруванні кислоти 0,1 М розчином NaOH. Додано титранту: а) 10 см<sup>3</sup>; б) 20 см<sup>3</sup>. Враховувати, що фосфатна кислота дисоціює за першим ступенем.

24. Визначити концентрацію йонів міді в розчині, якщо рівноважний потенціал мідного електрода в розчині  $\text{CuSO}_4$  при температурі 25 °С дорівнює 0,281 В.

25. Побудуйте криву потенціометричного титрування в координатах  $\text{pH} = f(V)$  і  $\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V} = f(V)$ , визначить концентрацію  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (г/л) в розчині, якщо при титруванні 10 мл розчину цієї кислоти 0,1 н КОН отримали наступні результати:

$V(\text{KOH}), \text{мл}$	10	13	14	14,50	14,9	15	15,1	15,5	16,00
pH	5,05	5,56	5,88	6,19	6,92	8,82	10,59	11,29	11,58

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильев В. П. Аналитическая химия. Сборник вопросов, упражнений и задач : пособие для вузов / В. П. Васильев, Л. А. Кочергина, Т. Д. Орлова; подред. В. П. Васильева. – 4-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2006. – 318 с.
2. Гороновский И. Т. Краткий справочник по химии / И. Т. Гороновский, Ю. И. Назаренко, Е. Ф. Некряч. – Киев. Наук. Думка, 1987. – 829 с.
3. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии : Справ. изд. – 6-е изд., перераб. и доп. / Ю. Ю. Лурье. – М. : Химия, 1989. – 448 с.
4. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К. П. Мищенко, А. А. Равделя. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Химия, 1965. – 160 с.
5. ДСанПіН 2.24-171-10. Гігієнічні вимоги до води, призначеної для споживання людиною централізованого господарсько-питного водопостачання.

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Добуток розчинності електролітів за 25 °С [2]

Електроліт	ДР
AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$
AgBr	$5,3 \cdot 10^{-13}$
Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$1,3 \cdot 10^{-20}$
Al(OH) <sub>3</sub>	$1,0 \cdot 10^{-32}$
BaCrO <sub>4</sub>	$1,2 \cdot 10^{-10}$
BaSO <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-10}$
CaCO <sub>3</sub>	$3,8 \cdot 10^{-9}$
CaF <sub>2</sub>	$4,0 \cdot 10^{-11}$
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$2,0 \cdot 10^{-29}$
CaSO <sub>4</sub>	$2,5 \cdot 10^{-5}$
CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$2,3 \cdot 10^{-9}$
CuCO <sub>3</sub>	$2,5 \cdot 10^{-10}$
Fe(OH) <sub>2</sub>	$8 \cdot 10^{-16}$
Fe(OH) <sub>3</sub>	$6,3 \cdot 10^{-38}$
MgCO <sub>3</sub>	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Mg(OH) <sub>2</sub>	$7,1 \cdot 10^{-12}$
MgS	$2,0 \cdot 10^{-15}$
Mn(OH) <sub>2</sub>	$1,9 \cdot 10^{-13}$
MnCO <sub>3</sub>	$1,8 \cdot 10^{-11}$
PbCl <sub>2</sub>	$1,6 \cdot 10^{-5}$
PbF <sub>2</sub>	$2,7 \cdot 10^{-8}$
PbI <sub>2</sub>	$1,1 \cdot 10^{-9}$
PbCrO <sub>4</sub>	$1,8 \cdot 10^{-14}$
PbSO <sub>4</sub>	$1,6 \cdot 10^{-8}$
SrCrO <sub>4</sub>	$3,6 \cdot 10^{-5}$

Таблиця А.2 – Константи дисоціації електролітів за 25 °С [2]

Формула кислоти	$K_d$	Формула основи	$K_d$
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$K_I = 4,45 \cdot 10^{-7}, K_{II} = 4,69 \cdot 10^{-11}$	Al(OH) <sub>3</sub>	$K_{III} = 1,38 \cdot 10^{-9}$
HClO	$2,95 \cdot 10^{-8}$	Cr(OH) <sub>3</sub>	$K_{III} = 1,02 \cdot 10^{-10}$
HCN	$5,0 \cdot 10^{-10}$	Cu(OH) <sub>2</sub>	$K_{II} = 3,4 \cdot 10^{-7}$
HNO <sub>2</sub>	$6,9 \cdot 10^{-4}$	Fe(OH) <sub>2</sub>	$K_{II} = 1,3 \cdot 10^{-4}$
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$K_I = 7,1 \cdot 10^{-3}, K_{II} = 6,2 \cdot 10^{-8},$ $K_{III} = 5,0 \cdot 10^{-13}$	Fe(OH) <sub>3</sub>	$K_{III} = 1,35 \cdot 10^{-12}$
H <sub>2</sub> S	$K_I = 1,0 \cdot 10^{-7}, K_{II} = 2,5 \cdot 10^{-13}$	NH <sub>4</sub> OH	$1,76 \cdot 10^{-5}$
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	$K_I = 1,4 \cdot 10^{-2}, K_{II} = 6,2 \cdot 10^{-8}$	Zn(OH) <sub>2</sub>	$K_{II} = 4 \cdot 10^{-5}$
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (18 °С)	$K_I = 2,2 \cdot 10^{-10}, K_{II} = 1,6 \cdot 10^{-12}$		
HCOOH	$1,8 \cdot 10^{-4}$		
CH <sub>3</sub> COOH	$1,74 \cdot 10^{-5}$		
HOOC-COOH	$K_I = 5,6 \cdot 10^{-2}, K_{II} = 5,4 \cdot 10^{-5}$		

Таблиця А.3 – Значення  $\lambda_{0+}$  й  $\lambda_{0-}$  при 25°С (Ом<sup>-1</sup>·см<sup>2</sup>·моль-екв<sup>-1</sup>) [2]

Катіони	$\lambda_{0+}$	Аніони	$\lambda_{0-}$
H <sup>+</sup>	349,8	OH <sup>-</sup>	198,3
K <sup>+</sup>	73,5	1/2 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	80,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	73,6	Br <sup>-</sup>	78,1
1/2 Pb <sup>2+</sup>	70,0	F <sup>-</sup>	55,6
1/3 Fe <sup>3+</sup>	68,0	I <sup>-</sup>	78,8
Ag <sup>+</sup>	61,9	Cl <sup>-</sup>	76,4
1/2 Zn <sup>2+</sup>	56,6	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	71,5
1/2 Mg <sup>2+</sup>	53,0	1/2 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	69,3
Na <sup>+</sup>	50,1	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	40,9

Таблиця А.4 – Стандартні електродні потенціали ( $\Phi^0$ ) у водних розчинах при 25 °С [4]

Електрод	Електродна реакція	$\Phi^0$ , В
Li <sup>+</sup> /Li	Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Li	-3,045
Rb <sup>+</sup> /Rb	Rb <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Rb	-2,925
K <sup>+</sup> /K	K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → K	-2,925
Ca <sup>2+</sup> /Ca	Ca <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ca	-2,87
Na <sup>+</sup> /Na	Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Na	-2,714
Mg <sup>2+</sup> /Mg	Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Mg	-2,37
Be <sup>2+</sup> /Be	Be <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Be	-1,85
Al <sup>3+</sup> /Al	Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Al	-1,66
Zn <sup>2+</sup> /Zn	Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Zn	-0,763
Fe <sup>2+</sup> /Fe	Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Fe	-0,440
Cd <sup>2+</sup> /Cd	Cd <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cd	-0,403
Co <sup>2+</sup> /Co	Co <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Co	-0,27
Ni <sup>2+</sup> /Ni	Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ni	-0,24
Sn <sup>2+</sup> /Sn	Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Sn	-0,140
Pb <sup>2+</sup> /Pb	Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Pb	-0,126
H <sup>+</sup> /1/2H <sub>2</sub>	H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → 1/2H <sub>2</sub>	<b>0,000</b>
Cu <sup>2+</sup> /Cu	Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cu	+0,337
Cu <sup>+</sup> /Cu	Cu <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Cu	+0,521
Ag <sup>+</sup> /Ag	Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Ag	+0,799
Hg <sup>2+</sup> /Hg	Hg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Hg	+0,854
Au <sup>3+</sup> /Au	Au <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Au	+1,50

## ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Номери завдань даного варіанта за розділами

№ варіанту	Номери завдань даного варіанта за розділами			
	1	2	3	4
1.	1	1	1	1
2.	2	2	2	2
3.	3	3	3	3
4.	4	4	4	4
5.	5	5	5	5
6.	6	6	6	6
7.	7	7	7	7
8.	8	8	8	8
9.	9	9	9	9
10.	10	10	10	10
11.	11	11	11	11
12.	12	12	12	12
13.	13	13	13	13
14.	14	14	14	14
15.	15	15	15	15
16.	16	16	16	16
17.	17	17	17	17
18.	18	18	18	18
19.	19	19	19	19
20.	20	20	20	20
21.	21	21	21	21
22.	22	22	22	22
23.	23	23	23	23
24.	24	24	24	24
25.	25	25	25	25
26.	1	1	1	1
27.	2	2	2	2
28.	3	3	3	3
29.	4	4	4	4
30.	5	5	5	5
31.	6	6	6	6
32.	7	7	7	7
33.	8	8	8	8

## Продовження таблиці Б.1

	1	2	3	4
34.	9	9	9	9
35.	10	10	10	10
36.	11	11	11	11
37.	12	12	12	12
38.	13	13	13	13
39.	14	14	14	14
40.	15	15	15	15
41.	16	16	16	16
42.	17	17	17	17
43.	18	18	18	18
44.	19	19	19	19
45.	20	20	20	20
46.	21	21	21	21
47.	22	22	22	22
48.	23	23	23	23
49.	24	24	24	24
50.	25	25	25	25
51.	1	1	1	1
52.	2	2	2	2
53.	3	3	3	3
54.	4	4	4	4
55.	5	5	5	5
56.	6	6	6	6
57.	7	7	7	7
58.	8	8	8	8
59.	9	9	9	9
60.	10	10	10	10
61.	11	11	11	11
62.	12	12	12	12
63.	13	13	13	13
64.	14	14	14	14
65.	15	15	15	15
66.	16	16	16	16
67.	17	17	17	17



## Закінчення таблиці Б.1

	1	2	3	4
68.	18	18	18	18
69.	19	19	19	19
70.	20	20	20	20
71.	21	21	21	21
72.	22	22	22	22
73.	23	23	23	23
74.	24	24	24	24
75.	25	25	25	25
76.	1	1	1	1
77.	2	2	2	2
78.	3	3	3	3
79.	4	4	4	4
80.	5	5	5	5
81.	6	6	6	6
82.	7	7	7	7
83.	8	8	8	8
84.	9	9	9	9
85.	10	10	10	10
86.	11	11	11	11
87.	12	12	12	12
88.	13	13	13	13
89.	14	14	14	14
90.	15	15	15	15
91.	16	16	16	16
92.	17	17	17	17
93.	18	18	18	18
94.	19	19	19	19
95.	20	20	20	20
96.	21	21	21	21
97.	22	22	22	22
98.	23	23	23	23
99.	24	24	24	24
100.	25	25	25	25

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до виконання самостійної та контрольної роботи  
з навчальної дисципліни

**« ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДОВКІЛЛЯ »**

*(для студентів 1–3 курсу денної та заочної форм навчання першого  
(бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності  
101 – Екологія, 183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

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

Відповідальний за випуск *Т. Д. Панайотова*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *І. С. Зайцева*

План 2018, поз. 178М

---

Підп. до друку 30.05.2019. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,9.

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.