

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни
«Методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря, ґрунту, води та
продовольчої сировини»

для студентів усіх форм навчання

спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету
протокол № 3 від 30 жовтня 2025 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2025

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря, ґрунту, води та продовольчої сировини» для студентів усіх форм навчання спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища» / уклад. В. В. Себко, А.С. Босюк – Харків : НТУ «ХП», 2025. – 31 с.

Укладачі: В.В. Себко
А.С. Босюк

Рецензент: І. Л. Красніков

Кафедра хімічна техніка та промислова екологія

ВСТУП

Метою практичних занять є вивчення методики визначення фізико-хімічних параметрів рідинних середовищ, таких як кислотність (рН), температура (Т), питома електропровідність (κ) та концентрація (с), а також ознайомлення з приладами для їх вимірювання: рН-метрами, редокс-метрами та термометрами.

Методичні вказівки розраховані на одну групу студентів. Вони допоможуть студентам, користуючись заданими параметрами розчинів і рідинних середовищ, визначати очікувані значення електропровідності, рН, редокс-потенціалу та концентрації компонентів. При цьому враховуються вимоги до точності, стабільності та умов проведення вимірювань, що дозволяє коректно проводити експерименти і оцінювати їх результати.

Результатом практичних занять є те, що студенти повинні:

- знати принципи роботи сучасних приладів для визначення рН, редокс-потенціалу, електропровідності та температури розчинів;
- оцінювати вплив концентрації компонентів, температури та інших факторів на фізико-хімічні властивості розчинів;
- робити висновки щодо якості та стану контрольованих рідинних середовищ.

Знання сучасних методів контролю фізико-хімічних параметрів рідинних середовищ мають бути використані в хімічному машинобудуванні (сепаратори та реактори), екологічних пристроях для очищення води та ґрунтів, а також під час практичних занять з дисципліни «Методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря, ґрунту, води та продовольчої сировини».

Практичне заняття №1

Тема 1. Визначення концентрації водних розчинів за їх електропровідністю та температурою.

Залежність електропровідності від концентрації розчинених речовин. Вплив температури на електропровідність водних розчинів. Необхідність урахування температурної поправки при розрахунках.

1.1 Визначення електропровідності розчинів

Електропровідність розчинів зумовлена наявністю іонів, що утворюються при дисоціації електролітів. Іони рухаються під дією електричного поля, створюючи електричний струм. Чим більше іонів у розчині і чим вища їхня рухливість, тим більша електропровідність.

Питома електропровідність (σ) – величина, що характеризує здатність одиниці довжини або об'єму розчину проводити струм. Залежить від природи електроліту, концентрації, температури. Одиниці вимірювання: См/см або См/м.

Молярна електропровідність (k) – це електропровідність, що припадає на 1 моль розчиненої речовини:

$$\sigma = \frac{k \cdot 1000}{c} \quad (1)$$

де: k – молярна електропровідність, См·см²/моль,

χ – питома електропровідність, См/см,

c – концентрація, моль/л.

1.2 Залежність електропровідності від концентрації

При розведенні електролітів концентрація іонів у розчині зменшується, але ступінь дисоціації зростає. Для сильних електролітів молярна електропровідність збільшується зі зменшенням концентрації і наближається до певного граничного значення.

Формула для обчислення концентрації розчину:

$$c = \frac{k \cdot 1000}{\sigma} \quad (2)$$

1.3 Гранична молярна електропровідність

k^0 – це молярна електропровідність при нескінченному розведенні. У цьому випадку іони не взаємодіють одне з одним, і їхня рухливість максимальна.

Для сильних електролітів виконується закон Кольрауша:

$$k = k^0 - b \cdot \sqrt{c} \quad (3)$$

де: b – константа, що залежить від електроліту та температури.

1.4 Температурна залежність

Електропровідність зростає із підвищенням температури, оскільки збільшується рухливість іонів і зменшується в'язкість розчинника.

Залежність питомої електропровідності від температури можна виразити формулою:

$$g \cdot T = g \cdot T_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)] \quad (4)$$

де: $g \cdot T$ – електропровідність при температурі T ;

$g \cdot T_0$ – електропровідність при температурі T_0 ,

α – температурний коефіцієнт, $1/^\circ\text{C}$.

1.5 Практичне застосування

Визначення концентрації розчинів за електропровідністю використовується в багатьох галузях:

- у фізичній хімії для вивчення дисоціації електролітів,
- у медицині та біології для контролю фізіологічних розчинів,
- у харчовій промисловості для перевірки якості води та напоїв,
- в екології для оцінки мінералізації природних і стічних вод.

Метод має високу точність і дозволяє швидко отримати результат без складних хімічних аналізів.

Рекомендована література [1–5].

Задача 1

Питома електропровідність розчину при 25 °С, дорівнює $\sigma_{25} = 0,0125$ См/см. Температурний коефіцієнт провідності $\alpha = 0,021$ 1/°С. Визначити концентрацію розчину при 20 °С, якщо $k^0 = 125$ См·см²/моль.

Розв'язання:

1. Корекція електропровідності:

$$\sigma_{20} = \sigma_{25} / (1 + \alpha \cdot (25 - 20)) = 0,0125 / (1 + 0,021 \cdot 5) = 0,0114 \text{ См/см}$$

2. Концентрація:

$$c = k^0 \cdot 1000 / \sigma = 0,0114 \cdot 1000 / 125 = 0,091 \text{ моль/л}$$

Відповідь: $c \approx 0,091$ моль/л

Задача 2

Для розчину оцтової кислоти при $t=25$ °С. Питома електрична провідність $\sigma = 0,00125$ См/см. Молярна електропровідність $k^0 = 390$ См·см²/моль.

Визначити:

1. молярну електропровідність k ,
2. ступінь дисоціації α ,
3. константу дисоціації Q_a .

Розв'язання:

1. Нехай $c = 0,05$ моль/л. $k^0 = \sigma \cdot 1000 / c = 0,00125 \cdot 1000 / 0,05 = 25$ См·см²/моль

2. $\alpha = k/k^0 = 25 / 390 \approx 0,064$

3. $Q_a = (c \cdot \alpha^2) / (1 - \beta) = (0,05 \cdot 0,064^2) / (1 - 0,064) = 2,1 \cdot 10^{-4}$

Відповідь: $k^0 = 25$, $\beta = 0,064$, $Q_a \approx 2,1 \cdot 10^{-4}$

Задача 3

Є суміш з концентрацією $c=0,1$ моль/л NaCl і $c=0,05$ моль/л KCl при 25°С.

$k^0(\text{NaCl}) = 126$ См·см²/моль, $k^0(\text{KCl}) = 150$ См·см²/моль.

Знайти питому електропровідність σ .

Розв'язання:

$$\text{NaCl: } \sigma_1 = \Lambda^0 \cdot c / 1000 = 126 \cdot 0,1 / 1000 = 0,0126 \text{ См/см}$$

$$\text{KCl: } \sigma_2 = 150 \cdot 0,05 / 1000 = 0,0075 \text{ См/см}$$

$$\text{Загальна: } \sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = 0,0201 \text{ См/см}$$

$$\text{Відповідь: } \sigma = 0,0201 \text{ См/см.}$$

Задача 4

При $t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ розчин HCl має $\sigma = 1,8 \text{ См/м.}$

$$k^0 = 426 \text{ См} \cdot \text{см}^2 / \text{моль.}$$

Визначити концентрацію c в моль/л.

Розв'язання:

1. Переводимо одиниці: $1 \text{ См/см} = 100 \text{ См/м.}$
 $\kappa = 1,8 / 100 = 0,018 \text{ См/см.}$

2. Концентрація: $c = \sigma \cdot 1000 / k^0 = 0,018 \cdot 1000 / 426 = 0,042 \text{ моль/л.}$

Відповідь: $c \approx 0,042 \text{ моль/л}$

Задача 5

При $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ розчин KCl має $\sigma_{20} = 0,0136 \text{ См/см.}$

Температурний коефіцієнт $\beta = 0,019 \text{ 1/}^\circ\text{C.}$

Знайти концентрацію при $t=30 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо $k^0 = 149 \text{ См} \cdot \text{см}^2 / \text{моль.}$

Розв'язання:

1. Корекція: $\sigma_{30} = \sigma_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (30 - 20)) = 0,0136 \cdot (1 + 0,019 \cdot 10) = 0,0162 \text{ См/см.}$

2. Концентрація: $c = \sigma \cdot 1000 / k^0 = 0,0162 \cdot 1000 / 149 = 0,109 \text{ моль/л.}$

Відповідь: $c \approx 0,11 \text{ моль/л}$

Задача 6

У розчині є NaCl з концентрацією $c=0,1 \text{ моль/л}$ і оцтова кислота CH_3COOH $c=0,05 \text{ моль/л.}$ $k^0(\text{NaCl}) = 126 \text{ См} \cdot \text{см}^2 / \text{моль}$, $k^0(\text{CH}_3\text{COOH}) = 390$

См·см²/моль. Питома електрична провідність $\sigma = 0,0136$ См/см. Визначити ступінь дисоціації оцтової кислоти.

Розв'язання:

1. Внесок NaCl: $\sigma_1 = k \cdot c / 1000 = 126 \cdot 0,1 / 1000 = 0,0126$ См/см.
2. Внесок кислоти: $\sigma_2 = \sigma - \sigma_1 = 0,0136 - 0,0126 = 0,0010$ См/см.
3. Молярна електропровідність кислоти:
 $k = \sigma_2 \cdot 1000 / c = 0,0010 \cdot 1000 / 0,05 = 20$ См·см²/моль.
4. Ступінь дисоціації: $\alpha = k / k^0 = 20 / 390 \approx 0,051$.

Відповідь: $\alpha \approx 0,051$ ($\approx 5,1$ %)

Завдання для самостійної роботи в аудиторії

Задача 7

При $t = 25$ °С питома електропровідність розчину $c_{25} = 0,0125$ См/см. Температурний коефіцієнт провідності $\beta = 0,021$ 1/°С. Молярна електропровідність при нескінченному розведенні $k^0 = 125$ См·см²/моль (значення наведено при $t=20$ °С). Знайти: концентрацію розчину c (моль/л) при $t=20$ °С.

Задача 8

Для розчину оцтової кислоти при $t = 25$ °С, виміряна питома електропровідність $\sigma = 0,00125$ См/см. Молярна гранична електропровідність $k^0(\text{CH}_3\text{COOH}) = 390$ См·см²/моль. Припустимо, що аналітична концентрація кислоти $c = 0,05$ моль/л. Знайти: молярну електропровідність k (при c , що задана), ступінь дисоціації α та константу дисоціації Q_a .

Задача 9

Дана суміш: NaCl з концентрацією $c=0,12$ моль/л та KCl з концентрацією $c=0,08$ моль/л при $t = 25$ °С. Граничні молярні електропровідності: $k^0(\text{NaCl}) = 126$ См·см²/моль, $k^0(\text{KCl}) = 150$ См·см²/моль. Знайти: розрахункову питому електропровідність σ суміші (См/см), знехтувавши взаємодією між іонами.

Задача 10

При 30 °С для розчину HCl виміряна питома електропровідність $\sigma = 1,8$ См/м. Молярна гранична електропровідність $k^0(\text{HCl}) = 426$ См·см²/моль. Знайти: концентрацію c у моль/л.

Задача 11

Розчин включає до себе: NaCl з концентрацією $c_1 = 0,10$ моль/л та оцтова кислота з концентрацією $c_2 = 0,05$ моль/л. При 25 °С виміряна загальна провідність $\sigma = 0,0136$ См/см. Граничні молярні електропровідності: $k^0(\text{NaCl}) = 126$ См·см²/моль, $k^0(\text{CH}_3\text{COOH}) = 390$ См·см²/моль. Знайти: ступінь дисоціації α оцтової кислоти в цій суміші, вважаючи, що внесок NaCl можна розрахувати за k^0 .

Задача 12

Розчин при $t = 15$ °С має виміряну питому електропровідність $\sigma_{15} = 0,0060$ См/см. Температурний коефіцієнт $\alpha = 0,018$ 1/°С. При 25 °С для цього розчину гранична молярна електропровідність $k^0 = 140$ См·см²/моль. Припустимо, що розчин містить одноосновний електроліт ($z = 1$) і що на 25 °С розрахована концентрація $c = \sigma_{25} \cdot 1000/k^0$ відповідає аналітичній концентрації. Знайти:

1. скориговану питому електропровідність σ_{25} при 25 °С;
2. концентрацію c (моль/л) при 25 °С;
3. якщо цей електроліт — слабка кислота і при $t = 25$ °С її ступінь дисоціації $\alpha = 0,1$, оцінити концентрацію іонів H^+ (моль/л) та очікуваний рН.

Практичне заняття №2

Тема 2. Контроль лігніну та нафтопродуктів методом інфрачервоної спектрофотометрії.

Принцип дії інфрачервоної (ІЧ) спектрофотометрії. Підготовка зразків для ІЧ-аналізу. Ідентифікація та кількісне визначення речовин за характерними піками.

2.1 Теоретичні відомості з інфрачервоної спектроскопії нафтопродуктів і лігніну

Інфрачервона (ІЧ) спектроскопія є одним із найважливіших методів фізико-хімічного аналізу органічних і неорганічних сполук. Вона ґрунтується на явищі селективного поглинання молекулами речовини інфрачервоного випромінювання. Коли інфрачервоні промені взаємодіють із молекулою, енергія світла поглинається і переходить у енергію внутрішніх коливань атомів у молекулі. Кожний тип хімічного зв'язку і кожна функціональна група має власні, характерні частоти коливань. Саме тому ІЧ-спектр вважають «молекулярним відбитком» речовини.

Порівняння ІЧ-спектрів дозволяє робити висновки про наявність певних функціональних груп, ступінь насиченості сполук, а також ідентифікувати невідомі зразки шляхом співставлення їх спектрів зі стандартними.

2.2 Діапазони інфрачервоного випромінювання

ІЧ-область електромагнітного спектра умовно поділяється на три частини:

- ближня ІЧ-область – $14000\text{--}4000\text{ см}^{-1}$,
- середня ІЧ-область – $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$,
- далека ІЧ-область – $400\text{--}10\text{ см}^{-1}$.

Для більшості аналітичних завдань, пов'язаних із вивченням органічних речовин, використовується саме середня ІЧ-область. У цьому діапазоні

розташовані смуги поглинання, характерні для переважної більшості функціональних груп, що входять до складу органічних молекул.

2.3 Характер коливань в молекулах

Атоми в молекулі можуть здійснювати різні типи коливань:

- валентні (розтягувальні) – коли відстань між атомами змінюється (наприклад, коливання зв'язку C–H чи C=O);
- деформаційні (згинальні) – коли змінюється кут між зв'язками (наприклад, коливання –CH₂ групи).

Кожен тип коливань відбувається з певною частотою, яка залежить від мас атомів і сили хімічного зв'язку. Саме ця залежність робить можливим розпізнавання функціональних груп у спектрі.

2.4 Особливості ІЧ-спектрів нафтопродуктів

Нафтопродукти є сумішшю різних вуглеводнів – насичених (алканів), ненасичених (алкенів), ароматичних та кисневмісних сполук. Основні смуги, характерні для їх спектрів:

- 2850–2950 см⁻¹ – валентні коливання зв'язків C–H у метильних і метиленових групах;
- 1460 і 1375 см⁻¹ – деформаційні коливання груп –CH₂– та –CH₃;
- близько 1600–1650 см⁻¹ – коливання подвійних зв'язків C=C у ненасичених сполуках;
- 1700–1750 см⁻¹ – карбонільна група C=O (свідчить про продукти окиснення).

Аналіз цих ділянок спектра дозволяє встановити, чи є в зразку насичені або ненасичені вуглеводні, виявити домішки кисневмісних сполук, оцінити ступінь старіння або окиснення нафтопродукту.

2.5 Особливості ІЧ-спектрів лігніну

Лігнін – це складний біополімер, що містить ароматичні кільця, фенольні та метоксигрупи. Його структура варіює залежно від походження і способу обробки деревини, проте є кілька ділянок спектра, які можна вважати діагностичними:

- 3400–3500 cm^{-1} – валентні коливання гідроксильних груп –ОН;
- 1600–1510 cm^{-1} – коливання ароматичних кілець;
- 1260–1220 cm^{-1} – смуга метоксигруп –ОСН₃;
- 1030 cm^{-1} – коливання С–О у спиртах та ефірах.

Порівнюючи спектри різних зразків лігніну, можна робити висновки про його хімічні зміни під час технологічної переробки деревини (наприклад, при варінні целюлози) або модифікації для створення нових матеріалів.

2.6 Переваги та обмеження ІЧ-спектроскопії

Переваги:

- швидкість аналізу;
- можливість працювати з малими кількостями речовини;
- висока специфічність до функціональних груп;
- можливість ідентифікації невідомих речовин шляхом порівняння

спектрів.

Обмеження:

- складність аналізу сумішей (накладання смуг поглинання);
- потреба у спеціальній підготовці зразків (прозорі таблетки, тонкі плівки);
- неможливість безпосередньо визначати елементний склад.

2.7 Практичне значення для дослідження нафтопродуктів і лігніну

ІЧ-спектроскопія застосовується в багатьох галузях:

- у нафтохімії – для визначення складу бензинів, мастил, дизельного палива, контролю їх якості, виявлення домішок і продуктів окиснення;

- у деревинній хімії – для вивчення структури лігніну, оцінки ступеня делігніфікації, дослідження продуктів хімічної модифікації;
- у екології – для контролю забруднень нафтопродуктами і продуктами розкладу органічних матеріалів.

Рекомендована література [3–7].

Задача 1 (нафтопродукт – алканова фракція)

Дано (смуги поглинання): 2958, 2923, 2853 cm^{-1} ; 1465 і 1378 cm^{-1} ; 721 cm^{-1} .

1) Які коливання відповідають смугам 2958–2853 cm^{-1} ?

Відповідь: Це валентні коливання зв'язку C–H у насичених групах (метильні та метиленові).

2) Що означають смуги при 1465 і 1378 cm^{-1} та смуга близько 721 cm^{-1} ?

Відповідь: 1465 і 1378 – деформаційні коливання CH_2/CH_3 ; смуга $\sim 721 \text{ cm}^{-1}$ – характерна для довгих аліфатичних ланцюгів.

Відповідь: Зразок є алкановою (парафіновою) фракцією нафтопродукту.

Задача 2 (нафтопродукт – продукт окиснення: кетон)

Дано: 2960, 2920, 2850 cm^{-1} ; 1715 cm^{-1} (сильна).

1) Що означає смуга $\sim 1715 \text{ cm}^{-1}$?

Відповідь: Це $\nu(\text{C}=\text{O})$ карбонільної групи, характерна для кетону.

2) Чому можна відкинути кислоту або естер?

Відповідь: У кислот була б широка смуга O–H (2500–3000 cm^{-1}), у естерів – сильна смуга C–O (1050–1250 cm^{-1}). Тут їх нема. У зразку присутній кетон як продукт окиснення нафтопродукту.

Задача 3 (нафтопродукт – ароматична домішка)

Дано: 1600 і 1500 cm^{-1} ; 900–700 cm^{-1} ; 2960–2850 cm^{-1} .

Крок 1. Що означають смуги 1600 і 1500 cm^{-1} ?

Відповідь: Ароматичні скелетні коливання $\nu(\text{C}=\text{C})$.

Крок 2. Що означають смуги 900–700 cm^{-1} ?

Відповідь: Позаплощинні деформаційні коливання C–H у бензольному кільці. Зразок містить ароматичні вуглеводні (бензольна фракція).

Задача 4 (нафтопродукт – сірковмісні домішки)

Дано: слабка смуга $\sim 2550\text{--}2600 \text{ cm}^{-1}$; $700\text{--}600 \text{ cm}^{-1}$.

Крок 1. Що означає смуга 2550 cm^{-1} ?

Відповідь: $\nu(\text{S–H})$ тіольної групи.

Крок 2. Що означають смуги $700\text{--}600 \text{ cm}^{-1}$?

Відповідь: Коливання C–S. Присутні тіоли (меркаптани) – домішки сірковмісних сполук.

Задача 5 (лігнін – нативний)

Дано: $3200\text{--}3600 \text{ cm}^{-1}$; 2930 і 2850 cm^{-1} ; 1600 і 1510 cm^{-1} ; $1260\text{--}1220 \text{ cm}^{-1}$; 1030 cm^{-1} .

Крок 1. Що означає смуга $3200\text{--}3600 \text{ cm}^{-1}$?

Відповідь: Розтягувальні коливання O–H (фенольні й спиртові групи).

Крок 2. Що означають смуги $1600/1510$ і $1260\text{--}1220 \text{ cm}^{-1}$?

Відповідь: Ароматичні $\nu(\text{C=C})$ і $\nu(\text{C–O})$ у метоксильних групах. Зразок відповідає нативному лігніну.

Задача 6 (лігнін – окиснений)

Дано: $3200\text{--}3500 \text{ cm}^{-1}$ (слабша); **1710 cm^{-1} (сильна)**; 1600 і 1510 cm^{-1} .

Крок 1. Що означає смуга $\sim 1710 \text{ cm}^{-1}$?

Відповідь: $\nu(\text{C=O})$ карбонільних груп (альдегіди, кетони, кислоти).

Крок 2. Чому це ознака окиснення?

Відповідь: У нативному лігніні майже немає карбонільних груп. Лігнін частково окиснений, з'явилися карбонільні групи.

Завдання для самостійної роботи в аудиторії

Задача 7

Дано: 2960, 2920, 2850; 1465; слабка смуга 1715 см^{-1} .

Кроки:

1. Визначте типи коливань.
2. Вкажіть функціональні групи.
3. Зробіть висновок про склад зразка.

Задача 8

Дано: 1600, 1500 см^{-1} ; 900–700 см^{-1} ; 3030 см^{-1} .

Кроки:

1. Проаналізуйте смуги 1600 і 1500 см^{-1} .
2. Поясніть 3030 см^{-1} і 900–700 см^{-1} .
3. Визначте тип сполук.

Задача 9

Дано: слабка смуга $\sim 2550 \text{ см}^{-1}$; 700–600 см^{-1} ; 2920 і 2850 см^{-1} .

Кроки:

1. Вкажіть групу, яка дає смугу $\sim 2550 \text{ см}^{-1}$.
2. Проаналізуйте смуги 700–600 см^{-1} .
3. Зробіть висновок про можливі домішки.

Задача 10 (суміш лігнін/целюлоза)

Дано: 3300 см^{-1} ; 2900 см^{-1} ; 1735 см^{-1} ; 1600 і 1510 см^{-1} ; 1050 см^{-1} .

Кроки:

1. Призначте смуги.
2. Визначте компоненти суміші.
3. Поясніть появу смуги 1735 см^{-1} .

Задача 11 (лігнін – метоксильні групи)

Дано: 2830–2810 cm^{-1} (слабкі); 1260 cm^{-1} (інтенсивна); 1030 cm^{-1} ; 1510 cm^{-1} .

Кроки:

1. Призначте смугу 1260 cm^{-1} і 2830–2810 cm^{-1} .
2. Проаналізуйте 1510 і 1030 cm^{-1} .
3. Визначте наявність метоксильних груп.

Задача 12 (нафтопродукт – наявність ефіру/поліолів)

Дано:

- сильна смуга на 1740 cm^{-1}
- інтенсивні смуги у діапазоні 1200–1050 cm^{-1}
- відсутність смуги в області 3500–3200 cm^{-1}

Кроки:

1. Що відповідає смузі на 1740 cm^{-1} ?
2. Що означають інтенсивні смуги в діапазоні 1200–1050 cm^{-1} ?
3. Який тип кисневмісної домішки є найбільш ймовірним (ефір / ефіри / поліоли / карбонові кислоти)?

Практичне заняття №3

3.1 Контроль фізико-хімічних параметрів розчинів та рідинних середовищ

Засоби контролю фізико-хімічних параметрів розчинів та рідинних середовищ. Основні фізико-хімічні параметри: рН, електропровідність, температура. Прилади для вимірювання: рН-метри, кондуктометри, термометри, редокс-метри. Вимоги до точності, стабільності та умов проведення вимірювань.

Контроль фізико-хімічних параметрів розчинів і рідинних середовищ є основою для оцінки їхніх властивостей та забезпечення стабільності хімічних процесів. Основні параметри, що вимірюються, включають питому електропровідність (σ), температуру (Т), кислотність (рН) та концентрацію (с). Правильне визначення цих величин дозволяє контролювати склад, реакційну здатність і якість розчинів.

3.2 Електропровідність розчинів

Питома електропровідність k розчину визначає його здатність проводити електричний струм і залежить від концентрації й рухливості йонів. Вимірюється в одиницях См/см або См/м. Для ідеальних розчинів виконується співвідношення:

$$k = G \cdot \eta \quad (5)$$

де: G – електрична провідність, С (Сіменс),

η – константа клітинки, см⁻¹.

Для розрахунку концентрації розчину використовується молярна електропровідність k :

$$k = \sigma \cdot 1000 / c \quad (6)$$

де: k – молярна електропровідність, См·см²/моль,

c — концентрація, моль/л.

Гранична молярна електропровідність k^0 відповідає повному розведенню іонів. Для слабких електролітів ступінь дисоціації β визначається як відношення k при заданій концентрації до k^0 :

$$\alpha = k / k^0 \quad (7)$$

Константа дисоціації слабкої кислоти Q_a визначається за формулою:

$$Q_a = (c \cdot \beta^2) / (1 - \beta) \quad (8)$$

де: c – концентрація кислоти,

β – ступінь дисоціації.

Температурна залежність електропровідності враховується через температурний коефіцієнт α ($1/^\circ\text{C}$):

$$T = \sigma_0 \cdot [1 + \beta \cdot (T - T_0)] \quad (9)$$

де: σ_0 – питома електропровідність при температурі T_0 ,

T – температура розчину, $^\circ\text{C}$,

β – температурний коефіцієнт.

3.3 Для невизначеностей σ і c (похибок вимірювань), використовується стандартне обчислення:

Нехай a задана функцією вигляду:

$$a = x^{\alpha_1} y^{\beta_1} z^{\gamma_1} t^{\nu_1} + x^{\alpha_2} y^{\beta_2} z^{\gamma_2} t^{\nu_2} \quad (10)$$

Знайдемо коефіцієнти впливу:

$$\frac{f_x \cdot x}{a} = \frac{y^{\beta_1} \cdot z^{\gamma_1} \cdot t^{\nu_1} \cdot x^{\alpha_1 - 1}}{a} + \frac{y^{\beta_2} \cdot z^{\gamma_2} \cdot t^{\nu_2} \cdot x^{\alpha_2 - 1}}{a} \quad (11)$$

$$\frac{f_x \cdot x}{a} = \alpha_1 \frac{x^{\alpha_1} \cdot y^{\beta_1} \cdot z^{\gamma_1} \cdot t^{\nu_1}}{a} + \alpha_2 \frac{x^{\alpha_2} \cdot y^{\beta_2} \cdot z^{\gamma_2} \cdot t^{\nu_2}}{a}$$

Уведемо позначення:

$$A_1 = \frac{x^{\alpha_1} y^{\beta_1} z^{\gamma_1} t^{\nu_1}}{a}; A_2 = \frac{x^{\alpha_2} y^{\beta_2} z^{\gamma_2} t^{\nu_2}}{a} \quad (12)$$

де A_1, A_2 – відношення першої і другої складових функції до самої функції a .

Тоді коефіцієнт впливу

$$\frac{f_x^I \cdot x}{a} = \alpha_1 A_2 + \alpha_2 A_2 \quad (13)$$

За аналогією з попереднім випадком запишемо інші коефіцієнти впливу:

$$\frac{f_y^I \cdot y}{a} = \beta_1 A_2 + \beta_2 A_2 \quad (14)$$

$$\frac{f_z^I \cdot z}{a} = \gamma_1 A_2 + \gamma_2 A_2 \quad (15)$$

$$\frac{f_t^I \cdot t}{a} = \nu_1 A_2 + \nu_2 A_2 \quad (16)$$

Таким чином, відносна похибка $\frac{\delta a}{a}$ виражається формулою:

$$\begin{aligned} \frac{\delta a}{a} = (\alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2) \frac{\delta x}{x} + (\beta_1 A_1 + \beta_2 A_2) \frac{\delta y}{y} + (\gamma_1 A_1 + \gamma_2 A_2) \frac{\delta z}{z} + (\nu_1 A_1 + \\ + \nu_2 A_2) \frac{\delta t}{t} \end{aligned} \quad (17)$$

3.4 Вимірювання рН

Кислотність розчину визначається за допомогою рН-метрів, які вимірюють потенціал електрода:

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] \quad (18)$$

де $[\text{H}^+]$ – концентрація іонів водню в розчині, моль/л.

При використанні електродів реєструється потенціал E_{obs} , що залежить від рН за рівнянням:

$$E_{\text{зар}} = E_0 + b \cdot \text{pH} \quad (19)$$

де: E_0 – потенціал електрода при стандартних умовах, В,

b – нахил калібрувальної характеристики, В від рН.

Для калібрування використовують стандартні буфери з відомими рН. Похибка визначення рН залежить від стабільності електрода, температури та чистоти розчину.

3.5 Редокс-потенціал

Редокс-потенціал E визначає схильність розчину до окиснення або відновлення. Для системи $O + n \cdot e^- \rightleftharpoons R$ використовується рівняння Нернста:

$$E_{\text{сп}} = E^0 + (0,059 / n) \cdot \log_{10}(a_{\text{O}} / a_{\text{R}}) \quad (20)$$

де: $E_{\text{сп}}$ – спостережуваний потенціал, В,

E^0 – стандартний потенціал, В,

n – кількість електронів в процесі,

a_{O} – активність окисненої форми,

a_{R} – активність відновленої форми,

0,059 – константа при 25 °С.

Співвідношення активностей обчислюється як:

$$a_{\text{O}} / a_{\text{R}} = 10^{[(E_{\text{obs}} - E^0) \cdot n / 0,059]} \quad (21)$$

Вимірювання редокс-потенціалу потребує чистих електродів, стабільної температури та правильного калібрування з використанням стандартних розчинів.

3.6 Контроль концентрації

Концентрацію розчину можна визначити як за допомогою електропровідності, так і через рН для кислот/основ. Важливо враховувати вплив інших електролітів у розчині:

$$\sigma = \sum \lambda_i \cdot c_i \quad (22)$$

де: σ – питома електропровідність розчину (См/см або мСм/см);

λ_i – іонна молярна провідність i -того йона (См·см²/моль);

c – концентрація i -того йона в розчині (моль/см³ або моль/л, залежно від системи);

Σ – сума за всіма йонами, присутніми в розчині.

Для слабких кислот і основ ступінь дисоціації α визначає активну концентрацію іонів, а відповідно і електропровідність. Для сильних електролітів $\alpha \approx 1$.

3.7 Вимоги до точності та умов проведення вимірювань

1. Стабільність приладів:

- електроди рН- та редокс-метрів повинні бути очищені та калібровані,
- константа клітинки електропровідності перевіряється відомими стандартними розчинами.

2. Температурний контроль:

- температура розчину впливає на κ , рН і редокс-потенціал,
- використовується водяна баня або термостабілізатор.

3. Чистота розчинів та електродів:

- забруднення може змінювати κ та потенціали,
- важливо уникати контакту з металевими предметами і повітрям при чутливих розчинах.

4. Невизначеності та похибки:

- розраховуються через відносні невизначеності вимірювань компонентів,
- комбіновані невизначеності для κ та c визначаються через квадратний корінь суми квадратів відносних похибок окремих компонентів.

Рекомендована література [3–9].

Задача 1

Нехай задана питома електрична провідність розчину: $\sigma = 0,00250$ См/м. Константа клітини $k = 1,25$ см⁻¹. Гранична молярна електропровідність $k^0 = 126$ См·см²/моль. Знайти концентрацію c (моль/л).

Формули:

1. Питома електропровідність:

$$\kappa = G \cdot k$$

2. Концентрація:

$$c = \sigma \cdot 1000 / k^0$$

Розв'язання:

1. $\kappa = 0,00250 \cdot 1,25 = 0,003125 \text{ См/см}$
2. $c = 0,003125 \cdot 1000 / 126 = 3,125 / 126 \approx 0,0248 \text{ моль/л}$

Відповідь: $c \approx 0,0248 \text{ моль/л}$.

Задача 2

При температурі $t=25 \text{ }^\circ\text{C}$; $\sigma_0 = 0,01200 \text{ См/см}$, температурний коефіцієнт $\alpha = 0,018 \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Молярна електропровідність $k^0 = 110 \text{ См}\cdot\text{см}^2/\text{моль}$. Знайти σ при $t=35 \text{ }^\circ\text{C}$ та концентрації c .

Формули:

1. $\kappa_T = \sigma_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$
2. $c = \kappa_T \cdot 1000 / k^0$

Розв'язання:

1. $\kappa(35^\circ\text{C}) = 0,01200 \cdot [1 + 0,018 \cdot (35 - 25)] = 0,01200 \cdot 1,18 = 0,01416 \text{ См/см}$
2. $c = 0,01416 \cdot 1000 / 110 = 14,16 / 110 \approx 0,1287 \text{ моль/л}$

Відповідь: $\kappa(35^\circ\text{C}) = 0,01416 \text{ См/см}$, $c \approx 0,1287 \text{ моль/л}$

Задача 3

Розчин містить NaCl з концентрацією $c = 0,0500 \text{ моль/л}$ та оцтову кислоту CH_3COOH з концентрацією $c = 0,0200 \text{ моль/л}$. Загальна питома електропровідність розчину $\sigma = 0,00850 \text{ См/см}$. Молярні електропровідності: $k^0 = 126 \text{ См}\cdot\text{см}^2/\text{моль}$, $k^0 = 390 \text{ См}\cdot\text{см}^2/\text{моль}$. Знайти ступінь дисоціації β та константу дисоціації Q_a .

Формули:

1. Внесок NaCl:

$$\sigma_{\text{NaCl}} = k^0_{\text{NaCl}} \cdot c_{\text{NaCl}} / 1000$$

2. Внесок кислоти:

$$\sigma_{\text{CH}_3\text{COOH}} = \sigma_{\text{заг}} - \sigma_{\text{NaCl}}$$

3. Молярна електропровідність кислоти при даній концентрації:

$$k^0_{\text{CH}_3\text{COOH}} = \sigma_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot 1000 / c_{\text{CH}_3\text{COOH}}$$

4. Ступінь дисоціації:

$$\beta = k_{\text{CH}_3\text{COOH}} / k^0_{\text{CH}_3\text{COOH}}$$

5. Константа дисоціації:

$$Q_a = (c_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot \beta^2) / (1 - \beta)$$

Розв'язання:

1. $\sigma_{\text{NaCl}} = 126 \cdot 0,0500 / 1000 = 0,00630 \text{ См/см}$

2. $\sigma_{\text{CH}_3\text{COOH}} = \sigma_{\text{заг}} - \sigma_{\text{NaCl}} = 0,00850 - 0,00630 = 0,00220 \text{ См/см}$

3. $k^0_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0,00220 \cdot 1000 / 0,0200 = 110 \text{ См} \cdot \text{см}^2 / \text{моль}$

4. $\beta = 110 / 390 \approx 0,282$

5. $Q_a = (0,0200 \cdot 0,282^2) / (1 - 0,282) = 0,001591 / 0,718 \approx 0,00222$

Відповідь: $\beta \approx 0,282$ (28,2 %); $Q_a \approx 2,22 \cdot 10^{-3}$

Задача 4

Дано:

- Калібрувальний буфер з **pH = 4**, потенціал електрода: **E₄ = 0,350 В**
- Калібрувальний буфер з **pH = 7**, потенціал електрода: **E₇ = 0,170 В**
- Виміряна проба має потенціал: **E = 0,230 В**

Потрібно знайти:

1. **Нахил (b)** калібрувальної прямої
2. **Значення pH проби**

Формули:

1. $b = (E_7 - E_4) / (7 - 4)$

2. $a = E_4 - b \cdot 4$

3. $\text{pH} = (E_x - a) / b$

Розв'язання:

1. $b = (0,170 - 0,350) / 3 = -0,0600 \text{ В/од. pH}$

b показує, що на кожну одиницю pH потенціал зменшується на 0,060 В

– це нормальне значення для водневого електрода при 25°C.

2. $a = 0,350 - (-0,0600) \cdot 4 = 0,350 + 0,240 = 0,590 \text{ В}$

a – це точка перетину прямої з віссю потенціалу (E), тобто значення E , яке відповідає $pH = 0$. (Математично — це вільний член рівняння прямої.)

$$3. \quad pH = (0,230 - 0,590) / (-0,0600) = (-0,360) / (-0,0600) = 6,00$$

Відповідь: $b = -0,060$ В/од. pH; pH проби = 6,00

Отже, електрод, що використовується для вимірювання pH (наприклад, скляний електрод), видає напругу, яка змінюється залежно від кислотності розчину. Ми використовуємо дві буферні точки з відомими pH і потенціалами для побудови калібрувальної прямої, а потім обертаємо рівняння, щоб з виміряного потенціалу знайти pH невідомої проби.

Задача 5

Для системи окисненої/відновленої форми $O + e^- \rightleftharpoons R$ виміряно редокс-потенціал: $E_{\text{спост}} = +0,250$ В.

Стандартний потенціал системи: $E^0 = +0,340$ В, при 25°C .

Кількість електронів: $n = 1$.

Потрібно знайти співвідношення активностей:

$$a_{\text{O}} / a_{\text{R}}$$

Позначення:

- $E_{\text{спост}}$ – спостережуваний потенціал, В
- E^0 – стандартний потенціал, В
- n – кількість електронів
- a_{O} – активність окисненої форми
- a_{R} – активність відновленої форми
- 0,059 – константа при 25°C для рівняння Нернста, В

Формула (рівняння Нернста при 25°C):

$$E_{\text{спост}} = E^0 + (0,059 / n) \cdot \log_{10}(a_{\text{O}} / a_{\text{R}})$$

Перетворюємо для знаходження співвідношення активностей:

$$\log_{10}(a_{\text{O}} / a_{\text{R}}) = (E_{\text{спост}} - E^0) \cdot n / 0,059$$

$$a_{\text{O}} / a_{\text{R}} = 10^{[(E_{\text{спост}} - E^0) \cdot n / 0,059]}$$

Розв'язання по кроках:

1. Обчислюємо різницю потенціалів:

$$\Delta E = E_{\text{спост}} - E^{\circ} = 0,250 - 0,340 = -0,090 \text{ В}$$

2. Обчислюємо логарифм:

$$\log_{10}(a_{\text{O}} / a_{\text{R}}) = \Delta E \cdot n / 0,059 = (-0,090 \cdot 1) / 0,059 \approx -1,525$$

3. Знаходимо відношення активностей:

$$a_{\text{O}} / a_{\text{R}} = 10^{(-1,525)} \approx 0,0298$$

Відповідь: $a_{\text{O}} / a_{\text{R}} \approx 0,0298$

Задача 6

Похибки вимірювань фізико-хімічних параметрів рідин.

Визначити відносну похибку $\frac{\delta a}{a}$ функції a , коли вона задана сумою

степеневих аргументів, тобто:

$$a = f(x, y, z \dots t) = g \cdot x^{\alpha} + b \cdot y^{\beta} + c \cdot z^{\gamma} + \dots + r \cdot t^{\nu},$$

де: $g, b, c \dots r$ і $\alpha, \beta, \gamma \dots \nu$ - постійні величини.

Скористаємося загальним виразом для відносної похибки (формула [12])

і знайдемо коефіцієнт впливу

$$\frac{f'_x \cdot x}{a} = \frac{\alpha \cdot g \cdot x^{\alpha}}{a} = \alpha \frac{a_x}{a},$$

де a_x – частина функції a , зв'язана з аргументом x , тобто $a_x = gx^{\alpha}$.

Аналогічним чином знайдемо інші вирази для коефіцієнтів впливу:

$$\frac{f'_y \cdot y}{a} = \frac{\beta \cdot b \cdot y^{\beta}}{a} = \beta \frac{a_y}{a},$$

тут a_y – частина функції a , обумовлена аргументом y ; $a_y = by^{\beta}$;

$$\frac{f'_z \cdot z}{a} = \frac{\gamma \cdot c \cdot z^{\gamma}}{a} = \gamma \frac{a_z}{a},$$

де a_z – частина функції a за аргументом z ; $a_z = cz^{\gamma}$;

$$\frac{f_t' \cdot t}{a} = \frac{v \cdot r \cdot t^v}{a} = v \frac{a_t}{a}, 4)$$

тут at – частина функції a за аргументом t .

Остаточний вираз для відносної похибки $\frac{\delta a}{a}$ функції в такому випадку має вигляд

$$\frac{\delta a}{a} = \alpha \frac{a_x}{a} \frac{\delta x}{x} + \beta \frac{a_y}{a} \frac{\delta y}{y} + \gamma \frac{a_z}{a} \frac{\delta z}{z} + \dots + v \frac{a_t}{a} \frac{\delta t}{t}.$$

Завдання для самостійної роботи в аудиторії

Задача 1.

У лабораторії виміряно питому електропровідність водного розчину: $\sigma = 0,015$ См/см. Відомо, що молярна електропровідність для цього розчину дорівнює $k^0 = 75$ См·см²/моль. Визначити концентрацію розчину "с".

Задача 2.

Температура розчину при вимірюванні становила $T_0 = 20$ °С, питома електропровідність при цій температурі дорівнює $\kappa_{T_0} = 0,012$ См/см. Відомо, що температурний коефіцієнт $\beta = 0,018$ 1/°С. Визначити електропровідність розчину σ при температурі $T = 30$ °С.

Задача 3.

Вимірювання рН-метром показало значення $pH = 5,2$. Обчислити концентрацію іонів гідрогену у розчині. З урахуванням $pH = -\log [H^+]$

Задача 4.

У водному розчині виміряно редокс-потенціал $E = +0,25$ В за допомогою редокс-метра. Стандартний потенціал для даної системи дорівнює $E^0 = +0,34$ В, температура $T = 298$ К, кількість електронів $n = 1$. Визначити відношення активностей окисненої та відновленої форм речовини.

Задача 5.

Розчин має $\text{pH} = 3,5$. Обчислити концентрацію іонів H^+ та гідроксид-іонів OH^- . Відомо, що при $t=25\text{ }^\circ\text{C}$: $[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-14}$. Необхідно урахувати формули:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}}$$

Задача 6.

Вимірювання температури розчину проводиться скляним термометром із ціною поділки $0,1\text{ }^\circ\text{C}$. Прилад показав $T = 36,7\text{ }^\circ\text{C}$. Визначити абсолютну похибку вимірювання та записати результат у вигляді $T = (\dots \pm \dots)\text{ }^\circ\text{C}$.

РЕКОМЕНДОВАНИЙ СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища : підруч. / Г. І. Гринь, В. І. Мохонько, О. В. Суворін та ін. – Северодонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. – 420 с. URL: https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/f9/3e/f93e762d-4e8d-4334-8d0b-282c89e239a3/metodi_vimiriuvannia_par_ns_8_04_pidruchnik_.pdf
2. Кватернюк С.М., Петрук В.Г. Мультиспектральний екологічний контроль інтегральних параметрів забруднення водних об'єктів. *Екологічні науки*. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2018, №2 (21). С. 133- 137. URL: https://www.ecoj.dea.kiev.ua/arch/2018/Ekol_2018_2_21.pdf
3. Кучерук В. Ю., Кулаков П. І., Мостовий Д. В. Засіб вимірювання питомої електропровідності молока у молокоприймальній камері. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017. № 1 С.7-14. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2002>
4. Гусак Л. С., Гусак В. Ф. Аналітичний контроль об'єктів навколишнього середовища: навч. посіб. – Чернівці: Рута, 2012. – 284 с. URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/1101/1/Гусак_Л_С_Аналітичний_контроль_2012.pdf
5. Посудін Ю. І. Методи неруйнівної оцінки якості та безпеки сільськогосподарських і харчових продуктів: навч. посіб. – Київ: Арістей, 2005. – 408 с. URL: <https://oa.mg/work/2767342856>
6. Защепкіна Н.М., Наконечний О.А. Методи контролю якісних та кількісних показників зерна пшениці із застосуванням одно- та багатопробевої спектрометрії. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2017. Вип. 3(62). Т.1. С. 155–162. URL: <https://elar.khntusg.com.ua/handle/123456789/120>
7. Защепкіна Н.М, Наконечний О.А. Вибір експрес методик аналізу кількісних та якісних параметрів продуктів харчування із застосуванням УФ-випромінювання. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: Електроенергетика та

перетворювальна техніка. Х.: НТУ «ХПІ», 2017. № 4(1226). С. 51–56. URL:
<https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/30232>

8. Себко В.В., Тихомирова Т.С., Сакун А.О. Визначення параметрів магнітного поля, які надають несприятливий вплив на довкілля: навчально-методичний посібник з навчальної дисципліни "Методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря, ґрунту, води та продовольчої сировини" для студентів спеціальності 183 "Технології захисту навколишнього середовища"/ Себко В.В., Тихомирова Т.С., Сакун А.О. – Харків: НТУ "ХПІ", 2024. – 76 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/66764cc1-264c-4bd4-b5c4-0aa4f88baa8f>

9. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів з дисципліни “Методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря, ґрунту, води та продовольчої сировини” для студентів спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» всіх форм навчання / Уклад. В.В. Себко, А.О. Сакун, О.В. Адашевський – Харків: НТУ «ХПІ», 2024 – 45 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/83793>

ЗМІСТ

ВСТУП	3
Практичне заняття №1	4
1.1 Визначення електропровідності розчинів	4
1.2 Залежність електропровідності від концентрації	4
1.3 Гранична молярна електропровідність	5
1.4 Температурна залежність	5
1.5 Практичне застосування.....	5
Практичне заняття №2	10
2.1 Теоретичні відомості з інфрачервоної спектроскопії нафтопродуктів і лігніну	10
2.2 Діапазони інфрачервоного випромінювання	10
2.3 Характер коливань в молекулах	11
2.4 Особливості ІЧ-спектрів нафтопродуктів	11
2.5 Особливості ІЧ-спектрів лігніну	12
2.6 Переваги та обмеження ІЧ-спектроскопії	12
2.7 Практичне значення для дослідження нафтопродуктів і лігніну ...	12
Практичне заняття №3	17
3.1 Контроль фізико-хімічних параметрів розчинів та рідинних середовищ	17
3.2 Електропровідність розчинів	17
3.3 Для невизначеностей σ і s (похибок вимірювань), використовується стандартне обчислення	18
3.4 Вимірювання рН	19
3.5 Редокс-потенціал	20
3.6 Контроль концентрації	20
3.7 Вимоги до точності та умов проведення вимірювань	21
РЕКОМЕНДОВАНИЙ СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	28

Навчальне видання

Методичні вказівки

до практичних занять з дисципліни «Методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря, ґрунту, води та продовольчої сировини»

для студентів усіх форм навчання

Укладачі:

СЕБКО Вадим Вадимович,

БОСЮК Альона Сергіївна

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 838

Підп. до друку Гарнітура Times New Roman

Видавничий центр НТУ «ХП»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронна версія