

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичної та самостійної роботи аспірантів
з ДИСЦИПЛІНИ
«ЕКОЛОГІЧНІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ
ХАРАКТЕРИСТИК
ДОСЛІДЖУВАНИХ ОБ'ЄКТІВ»

для аспірантів спеціальності 101 «ЕКОЛОГІЯ»

Харків
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичної та самостійної роботи аспірантів
з ДИСЦИПЛІНИ
«ЕКОЛОГІЧНІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ
ХАРАКТЕРИСТИК
ДОСЛІДЖУВАНИХ ОБ'ЄКТІВ»

для аспірантів спеціальності 101 «ЕКОЛОГІЯ»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 25.02.2021 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2021

Методичні вказівки до практичної та самостійної роботи аспірантів з дисциплін «Екологічні прилади та системи контролю характеристик досліджуваних об'єктів» для аспірантів зі спеціальності 101 «Екологія» денної та заочної форм навчання / уклад. Є. В. Пироженко, В. В. Себко, А. О. Баранова, О. С. Гетта – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – 56 с.

Укладачі: В. В. Себко
Є. В. Пироженко
А. О. Баранова
О. С. Гетта

Рецензент В. Ф. Моїсеєв

Кафедра Хімічна техніка та промислова екологія

1. МЕТА, ЗАВДАННЯ І ПРЕДМЕТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Методичні вказівки до практичної та самостійної роботи ставлять за мету визначення електричних та температурних параметрів зразків немагнітних рідин і відносної магнітної проникності μ_r , питомого електричного опору ρ , радіусу зразків магнітних рідин a_p , вивчення методики розрахунків очікуваних значень сигналів теплового контактного вихрострумowego перетворювача (КВП) зі зразками немагнітних і магнітних рідин, а також засвоєння методик проведення статистичного дослідження, аналізу та інтерпретації отриманих результатів. Дані методичні вказівки містять шість розрахункових завдань кожне з яких має 11 варіантів. Ці варіанти допоможуть аспірантам у практичних заняттях № 1–4, здійснювати статистичну обробку результатів досліджень фізико-хімічних характеристик навколишнього середовища, готової продукції, відходів виробництва та стічних вод. Зокрема користуючись заданими параметрами зразків немагнітних і магнітних рідин та геометричними параметрами контактного електромагнітного перетворювача (КЕП), визначити очікувані сигнали теплового КЕП: електричний опір R , сумарну індуктивність L_Σ , внутрішню індуктивність L_i і зовнішню індуктивність L_e . Найважливішим значенням розв'язку цієї задачі є знайдені діапазони змінення електричного опору $R = iR \sim$ та індуктивностей L_Σ, L_i, L_e теплового КВП, які відповідають діапазонам змінення магнітного параметра μ_r , електричного параметра ρ , радіусу a зразків рідин, що надає можливість підбору вимірювальної апаратури схеми включення КЕП, а також дозволяє знайти раціональні з точки зору досягнення малих похибок вимірювань, режими роботи КЕП з рідинами, що контролюється.

Оскільки, основними критеріями при виборі технології очищення стічних вод промислових підприємств є склад води, а саме наявність у ній тих або інших забруднювачів за чисельними даними питомого електричного опору ρ_t та температури t зразка у відповідності зі встановленими нормативними методиками визначають концентрацію μ , показники мінералізації ТДС, загальної жорсткості dGH , водневий показник рН та інші фізико-хімічні характеристики зразків стічних вод, які вказані в

нормативних документах на стічні води, скид яких здійснюється у відкриті водоймища та міську каналізацію, все це надає змогу для подальшого вибору механічних, фізико-хімічних, біологічних та інших методів очищення стічних вод [1–12].

Практичні заняття 5 та практичне заняття 6 присвячені вивченню законів розподілу вимірних величин та похибок вимірювань, а також визначенню взаємозв'язку інформативних параметрів у одного типу об'єктів під час досліджень кількісних характеристик кореляції: середнього квадратичного відхилення (СКВ) та коефіцієнту кореляції, засвоєнню методик проведення статистичного дослідження, аналізу та інтерпретації отриманих результатів. Всі завдання для аспірантів орієнтовані на виконання усталених на даний час методів та прийомів обробки результатів вимірювань фізико-хімічних параметрів об'єктів екологічного моніторингу. Таким чином, знання про сучасні багатопараметрові контактні методи та пристрої вимірювального контролю магнітних, електричних, геометричних та температурних параметрів зразків рідинних середовищ, повинні бути використані під час проектування наукових, аналітичних та екологічних пристроїв (екологічних пристроїв, які призначено для очищення води від нафтопродуктів, приладів для контролю фізико-хімічних параметрів води у відкритих та штучних водоймах, занурюваних перетворювачів призначених для контролю параметрів стічних вод та ін.), під час реалізації методик проведення статистичного дослідження, аналізу та інтерпретації отриманих результатів вимірювального контролю фізико-хімічних параметрів навколишнього середовища, а також під час лабораторних та практичних занять з дисципліни «Екологічні прилади та системи контролю характеристик досліджуваних об'єктів».

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Лекційні заняття

Програма навчальної дисципліни складається з наступних змістових модулів:

1. Загальні відомості про вимірювання, засоби вимірювальної техніки та вимірювальні прилади

Контрольні питання до першого модулю

1. Сучасні задачі міжнародної стандартизації в галузі приладобудування екологічних пристроїв та систем контролю.
2. Застосування національних стандартів в галузі екологічного приладобудування.
3. Міжнародна система одиниць (СІ) та її роль у міжнародному співробітництві.
4. Використання методичних і нормативних документів в галузі технічних вимірювань та метрологічної діяльності.
5. Процедура вимірювань та вимірювальні операції. Планування вимірювань.
6. Вимірювальний пристрій. Поняття засобу вимірювальної техніки.
7. Засоби вимірювання та їх основні види.
8. Вимірювальні прилади, використовують для аналізу стану довкілля.
9. Похибки засобів вимірювання та їх класифікація.
10. Складові похибок вимірювань. Невизначеність вимірювань.
11. Основні властивості засобів вимірювання та їх метрологічні характеристики.
12. Методика визначення вірогідності контролю. Методична та інструментальна складова вірогідності контролю.
13. Класифікаційні ознаки похибок вимірювальних приладів. Додаткова похибка вимірювальних приладів.
14. Дайте визначення термінам: перетворювач, давач, система контролю.
15. Види вимірювань: прямі, непрямі, сукупні, багатопараметрові.
16. Метрологічні та експлуатаційні характеристики вимірювальних приладів.

17. Точність та роздільна здатність вимірювального приладу.
18. Класифікація систем вимірювального контролю, первинні та вторинні перетворювачі, загальна побудова систем контролю.
19. Обробка результатів вимірювань. Роль математичної моделі під час обробки результатів вимірювань.
20. Закон Гауса (нормальний закон розподілу виміряних величин та похибок вимірювань). Кількісні характеристики нормального закону розподілу.
21. Прямокутний закон розподілу (рівномірний закон розподілу) випадкових величин та похибок вимірювань.
22. Трапецоїдний закон розподілу фізичних величин та похибок вимірювань (окремий випадок трапецоїдного закону – трикутний закон розподілу або закон Сімпсона).
23. Розподіл Релею. Графічне представлення функції закону Релею.
24. Статистичні методи оцінювання. Варіаційний ряд розподілу. Кореляційний аналіз.
25. Параметричні прилади та давачі: реостатні, тензометричні, теплові, ємнісні.
26. Термоанемометри. Теоретичні основи роботи, схеми включення термоанемометрів.
27. Автоматичні терези, дозатори, лічильники готової продукції.
28. Прилади та методи вимірювання рівня та їх класифікація. Поплавкові рівнеміри.
29. Зрівноважувальний вимірювальний міст та його принцип дії.
30. Ємнісні рівнеміри та сигналізатори рівня.

2. Аналітичні прилади та системи контролю кількісних характеристик об'єктів

Контрольні питання до другого модулю

1. Адсорбційні явища та їх застосування в аналітичних приладах. Фізичні основи адсорбції.
2. Поглинання, випромінювання атомами і молекулами речовин. Методики проведення вимірювань
3. Адсорбційно-спектральні прилади та методи аналізу.

4. Оптична спектроскопія. Прилади оптичної спектроскопії.
5. Колориметричні прилади аналізу. Фотометри. Фотометричні колориметри.
6. Характеристика спектрів поглинання речовин. Загальна характеристика абсорбційних аналітичних приладів.
7. Принцип дії люмінесцентних аналізаторів, теоретичні основи роботи люмінесцентних аналізаторів.
8. Теплові властивості компоненту газової суміші, як міри концентрації.
9. Залежність теплопровідності газової суміші від концентрації інформативних параметрів проби.
10. Оптичні прилади для визначення концентрації та розміру частинок речовини.
11. Призначення нефелометрів. Принцип дії нефелометрів
12. Прилади для вимірювання рН.
13. Прилади та системи потенціометричного аналізу.
14. Потенціометричне титрування. Специфіка потенціометричного титрування при використанні реакцій осадження та комплексоутворення.
15. Контроль вмісту небезпечних токсичних елементів в природних та стічних водах, фізіологічних розчинах методами потенціометрії.
16. Метрологічні характеристики засобів кулонометрії.
17. Фізичні та хімічні умови осадження та розділення металів.
18. Прилади та системи хроматографії. Хроматограф: устрій та робота з ним.
19. Характер ізотерми сорбції речовини.
20. Автоматизація процесу розділення та реєстрації результатів експериментів. Критерії селективності та розділення.
21. Газова хроматографія: апаратурне оформлення газохроматографічних методів.
22. Рідинна хроматографія: адсорбційна, нормально-фазова, обернено-фазова, іонна, іонообмінна, іон-парна, міцелярна, ексклюзійна.
23. Апаратурне оформлення в рідинній хроматографії. Якісний аналіз.
24. Прилади та методи вимірювання густини.
25. Ареометричні шкали. Градуси Боме. Методи визначення густини насипних та порістих матеріалів.

26. Класифікація густиномірів. Вагові густиноміри. Класи точності густиномірів. Вібраційний густиномір. Ваги Вестфалія-Мора.

27. Густина твердого тіла, гідростатичне зважування. Методика вимірювання оптичної густини.

28. Вплив поверхневого натягу та в'язкості рідини. Денсиметри, галузь застосування, класи точності денсиметрів.

29. Пікнометри. Кільцева мітка пікнометрів, застосування пікнометричних методів визначення густини твердих тіл та рідин.

30. Види забезпечень сучасних систем автоматизації. Інтегровані автоматизовані системи управління.

3. Практичні заняття

Практичне заняття 1

Визначення систематичних похибок непрямих вимірювань

Маємо функцію багатьох змінних $a = f(t, \alpha, t_1, \rho_1)$ (1)

Будемо вважати, що похибки аргументів функції a є малими величинами, та похибка вимірювання функції a , є також малою величиною, далі здійснюємо розкладення в ряд Тейлора з урахуванням обмежень лінійних додатків ряду

$$d\rho = \rho'_{t_1} dt_1 + \rho'_\alpha d\alpha + \rho'_t dt + \rho'_{\rho_1} d\rho_1, \quad (2)$$

де «штрих» позначає частинні похідні функції ρ за відповідними аргументами, dt_1 , $d\alpha$, dt і $d\rho_1$ – диференціали t_1 , α , t і ρ_1 .

Далі знаходимо частинні похідні досліджуваної функції за відповідними аргументами:

$$\begin{aligned} \rho'_{t_1} &= \left[\frac{\alpha \rho_1 (t - t_1)}{1 + \alpha t_1} \right]_{t_1}' = \frac{\alpha \rho_1 [(-1)(1 + \alpha t_1) - \alpha(t - t_1)]}{(1 + \alpha t_1)^2} = \\ &= \frac{\alpha \rho_1 (-1 - \alpha t_1 - \alpha t + \alpha t_1)}{(1 + \alpha t_1)^2} = -\alpha \rho_1 \frac{1 + \alpha t}{(1 + \alpha t_1)^2}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \rho'_\alpha &= \rho(t - t_1) \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha t_1} \right)'_\alpha = \rho_1 (t - t_1) / \frac{(1 + \alpha t_1) - \alpha t_1}{(1 + \alpha t_1)^2} = \\ &= \rho_1 (t - t_1) \frac{1 + \alpha t_1 - \alpha t_1}{1 + \alpha t_1} = \rho_1 \frac{t - t_1}{1 + \alpha t_1}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\rho'_t = \frac{\alpha \rho_1}{1 + \alpha t_1}; \quad (5)$$

$$\rho'_{\rho_1} = 1 + \frac{\alpha(t-t_1)}{1+\alpha t_1} = \frac{1+\alpha t_1 + \alpha t - \alpha t_1}{1+\alpha t_1} = \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t_1}. \quad (6)$$

Таким чином, відносний диференціал $d\rho/\rho$, має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{\rho} = & \frac{-\alpha\rho_1(1+\alpha t)t_1}{(1+\alpha t_1)^2\rho} \frac{dt_1}{t_1} + \frac{\alpha\rho_1(t-t_1)}{\rho(1+\alpha t_1)} \frac{d\alpha}{\alpha} + \\ & + \frac{\alpha\rho_1 t}{(1+\alpha t_1)\rho} \frac{dt}{t} + \frac{\rho_1(1+\alpha t)}{(1+\alpha t_1)\rho} \frac{d\rho_1}{\rho_1}. \end{aligned} \quad (7)$$

Далі необхідно прийняти позначальні коефіцієнти впливу:

$$A_{t_1} = \frac{-\alpha\rho_1(1+\alpha t)t_1}{(1+\alpha t_1)^2\rho}; \quad (8)$$

$$B_{\alpha} = \frac{\alpha\rho_1(t-t_1)}{\rho(1+\alpha t_1)}; \quad (9)$$

$$C_t = \frac{\alpha\rho_1 t}{(1+\alpha t_1)\rho}; \quad (10)$$

$$D_{\rho_1} = \frac{\rho_1(1+\alpha t)}{(1+\alpha t_1)\rho}. \quad (11)$$

Або у загальному вигляді маємо $a = f(x, y, z \dots t)$

$$a + \delta a = f(x + \delta x, y + \delta y, z + \delta z, \dots t + \delta t), \quad (12)$$

$$\frac{\delta a}{a} = \frac{f'(x)}{a} \delta x + \frac{f'(y)}{a} \delta y + \frac{f'(z)}{a} \delta z + \dots + \frac{f'(t)}{a} \delta t. \quad (13)$$

Розглянемо методику спільного контролю електричного опору й індуктивності електролітичної рідини за допомогою контактного електромагнітного перетворювача (КЕП), який являє собою скляну трубку з електролітичною рідиною, повздовж якої проходить електричний струм. На рис. 1 дана схема включення такого перетворювача, схема містить генератор Γ синусоїдальних сигналів, частотомір \mathcal{C} , КЕП, який включає до себе послідовно увімкнуті електричний опір R та індуктивність обмотки L зразка рідини, R_0 – еталонний опір, V – вольтметр, що визначає спадання напруги U на обмотці КЕП. Вольтметр V_1 вимірює спадання напруги на еталонному опорі R_0 , фазометр Φ визначає фазовий кут зсуву φ поміж струмом I та напругою U . Амперметром A вимірюють струм I

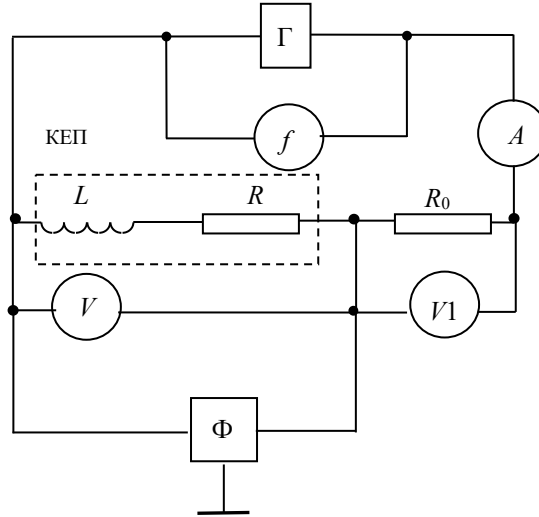


Рис. 1 – Схема включення КЕП з електролітичною рідиною

Задача розрахунку відносних похибок $\frac{\delta R}{R}$ і $\frac{\delta L}{L}$ виміру опору R та індуктивності L електролітичної рідини, зводиться до того, що спочатку за обмірюваними значеннями U , I , φ та частотою струму f КЕП можна знайти формули для визначення L та R обмотки рідини, а потім шукати похибки $\frac{\delta R}{R}$ і $\frac{\delta L}{L}$ за знайденими вище (див. розділ 1) співвідношеннями.

Задача розрахунку відносних похибок $\frac{\delta R}{R}$ і $\frac{\delta L}{L}$ виміру опору R та індуктивності L обмотки ПЕМП зводиться до того, що спочатку за обмірюваними значеннями U , I , φ та частотою струму f можна знайти формули для визначення L та R обмотки ПЕМП, а потім шукати похибки $\frac{\delta R}{R}$ і $\frac{\delta L}{L}$.

Розглянемо визначення $\frac{\delta R}{R}$ і $\frac{\delta L}{L}$ за допомогою розв'язання системи двох рівнянь, що зв'язують вимірювані величини. При цьому, значення змінного струму I та фазового кута φ поміж U та I знаходять за формулами

$$\begin{cases} I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}; \\ \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R}. \end{cases} \quad (1)$$

де ω – циклічна частота струму; $\omega = 2\pi f$.

Далі підставляючи друге рівняння системи (1) в перше рівняння, отримаємо

$$I = \frac{U}{R\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}. \quad (2)$$

Звідси з урахуванням формул, які описують роботу КЕП з рідиною на змінному струмі

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}, \quad (3)$$

$$R = \frac{U}{I} \cos \varphi. \quad (4)$$

Далі з урахуванням виразу

$$\omega L = Z \sin \varphi = \frac{U}{I} \sin \varphi, \quad (5)$$

Отримаємо вираз

$$L = \frac{U}{I} \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{U}{I} \sin \varphi \quad (6)$$

Таким чином, маємо систему рівнянь

$$\begin{cases} R = \frac{U}{I} \cos \varphi; \\ L = \frac{U}{I\omega} \sin \varphi. \end{cases} \quad (7)$$

Тепер знайдемо відносні похибка вимірів $\frac{\delta R}{R}$ і $\frac{\delta L}{L}$ з використанням системи (7). Розглянемо систему (7), як добуток степеневих аргументів (U/I) та $\cos \varphi$

$$R = \left(\frac{U}{I}\right)' \cdot (\cos \varphi)'. \quad (8)$$

Тоді

$$\frac{\delta R}{R} = \frac{\delta(U/I)}{(U/I)} - \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \delta \varphi = \frac{\delta(U/I)}{(U/I)} - \operatorname{tg} \varphi \delta \varphi. \quad (9)$$

Якщо вважати, що $U/I = Z$, де Z – повний опір обмотки ПЕМП, то (9) можна записати у вигляді

$$\frac{\delta R}{R} = \frac{\delta Z}{Z} - \operatorname{tg} \varphi \delta \varphi. \quad (10)$$

Вираз для розрахунку відносних похибок $\frac{\delta L}{L}$ з другого рівняння системи (7) можна отримати у вигляді

$$\frac{\delta L}{L} = \frac{\delta(U/I)}{U/I} - \frac{\delta \omega}{\omega} + (\operatorname{ctg} \varphi) \varphi \frac{\delta \varphi}{\varphi}. \quad (11)$$

Якщо позначити індуктивний опір обмотки як ωL , тобто, $x = \omega L$, то

$$x = \omega L = \frac{U}{I} \sin \varphi. \quad (12)$$

Тоді відносна похибка $\delta x/x$ визначення індуктивного опору визначаємо за формулою

$$\frac{\delta x}{x} = \frac{\delta Z}{Z} + \operatorname{ctg} \varphi \cdot \delta \varphi. \quad (13)$$

Таким чином, у результаті розв'язання системи нелінійних рівнянь відносно R та L (або x) та використовуючи методику розрахунку похибок непрямих вимірів на основі знайдених функцій перетворення (6), (7) та (12), були визначені відносні похибки $\frac{\delta R}{R}$, $\frac{\delta L}{L}$ та $\frac{\delta x}{x}$.

Чисельний приклад. Визначення електричних параметрів R та L слабкої електролітичної рідини (зразка стічних вод виноробної галузі).

Дано:

Частота магнітного поля $f = 70$ Гц, фазовий кут зсуву поміж струмом I та напругою U , дорівнює $\varphi = 15^\circ$; значення повздовжнього струму $\dot{I} = 10$ А; значення напруги $U = 220$ В. Значення відносних похибок аргументів функції та циклічної частоти, склали відповідно

$$\frac{\delta U}{U} = 0,5\%; \quad \frac{\delta \varphi}{\varphi} = 0,3\%; \quad \frac{\delta \dot{I}}{\dot{I}} = 0,3\% \quad \frac{\delta \omega}{\omega} = 0,2\%; \quad f = 50 \text{ Гц.}$$

$$\omega = 2\pi f = 6,28 \cdot 50 = 314 \text{ 1/с}$$

$$\begin{cases} U = \dot{I} \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}; \\ \varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R}. \end{cases}$$

$$R = Z \cdot \cos \varphi,$$

$$\omega L = Z \cdot \sin \varphi,$$

$$Z = \frac{\varphi}{I}.$$

Знайдемо активний опір та індуктивність обмотки ПЕМП

$$L = \frac{U}{\omega I} \cdot \sin \varphi = 40,4 \text{ МГц},$$

$$R = \frac{U}{I} \cdot \cos \varphi = 7,33 \text{ Ом}.$$

Знайдемо відносну похибку виміру індуктивності обмотки ПЕМП

$$\frac{\delta L}{L} = \frac{L'_U \cdot U}{L} \cdot \frac{\delta U}{U} + \frac{L'_\varphi \cdot \varphi}{L} \cdot \frac{\delta \varphi}{\varphi} + \frac{L'_I \cdot I}{L} \cdot \frac{\delta I}{I} + \frac{L'_\omega \cdot \omega}{L} \cdot \frac{\delta \omega}{\omega}.$$

Знайдемо коефіцієнти впливу

$$\frac{L'_U \cdot U}{L} = 1;$$

$$\frac{L'_\varphi \cdot \varphi}{L} = +\varphi \operatorname{ctg} \varphi = 0,604;$$

$$\frac{L'_I \cdot I}{L} = -1;$$

$$\frac{L'_\omega \cdot \omega}{L} = -1.$$

З урахуванням значень коефіцієнтів впливу визначимо похибку виміру індуктивності обмотки ПЕМП

$$\frac{\delta L}{L} = 1 \cdot 0,5 + 0,64 \cdot 0,3 - 1 \cdot 0,5 - 1 \cdot 0,2 = -0,0267.$$

Знайдемо відносну похибку виміру опору обмотки ПЕМП

$$\frac{\delta R}{R} = \frac{R'_U \cdot U}{R} \cdot \frac{\delta U}{U} + \frac{R'_I \cdot I}{R} \cdot \frac{\delta I}{I} + \frac{R'_\varphi \cdot \varphi}{R} \cdot \frac{\delta \varphi}{\varphi}.$$

Визначимо коефіцієнти впливу

$$\frac{R'_U \cdot U}{R} = 1;$$

$$\frac{R'_I \cdot I}{R} = -1;$$

$$\frac{R'_\varphi \cdot \varphi}{R} = -\varphi \operatorname{tg} \varphi = -1,813;$$

$$\frac{\delta R}{R} = 1 \cdot 0,5 - 1,813 \cdot 0,3 = -0,5441 \text{ \%}.$$

В табл.1, наведені данні для виконання самостійної роботи аспірантами, за темою практичного заняття.

$\frac{\delta U}{U} = 0,5\%$; $\frac{\delta \varphi}{\varphi} = 0,3\%$; $\frac{\delta I}{I} = 0,3\%$ $\frac{\delta \omega}{\omega} = 0,2\%$. Частота змінного струму дорівнює $f = 50$ Гц.

Таблиця 1

№ з/п	φ , град	U , В	I , А
1	16	210	9
2	19	220	10
3	14	230	10
4	30	170	2
5	60	80	1.5
6	45	40	4
7	30	50	6
8	60	20	2.5
9	45	30	3.5
10	30	40	3
11	15	220	10

Контрольні питання до практичного заняття 1

1. Похибки засобів вимірювань та причини їх виникнення.
2. Прилади для відносних вимірювань.
3. Систематична, методична, інструментальна, додаткова та випадкова похибки вимірювань.
4. Основні принципи вибору засобів вимірювань.
5. Розмірність. Формула розмірності.

Визначення електричних та температурних параметрів зразків магнітних та електролітичних рідин контактним електромагнітним перетворювачем.

Сутність двопараметрового контактного електромагнітного метода полягає у аналізі взаємодії зовнішнього однорідного магнітного поля з магнітним полем вихрових струмів у зразку рідини. Причому магнітний потік у рідині Φ_2 , індуктивність L та електричний опір R – пов'язані з питомою електричною провідністю χ , діаметром d_n скляної трубки зі

зразком (який дорівнює діаметру рідини d), довжиною теплового перетворювача l_n , а також з температурою t зразка. З ростом частоти магнітного поля зменшується внутрішня індуктивність зразка L_{it} , зростає опір R_t та змінюється питомий електричний опір зразка рідини ρ_t зразка (індекс t , свідчить що визначена величина є температурозалежною).

Методика інформативного двопараметрового вимірювального контролю питомого електричного опору ρ_t та температури t , полягає у тому, що спочатку для удосконалення відповідного математичного апарату, вводять питомі нормовані характеристики теплового ТКВП: нормовану внутрішню індуктивність L_{in} , питомий електричний опір R_{in} та узагальнений параметр χ , які містять інформацію щодо питомого електричного опору ρ_t , температури t зразка рідини та геометричних параметрах скляної трубки зі зразком рідини. Далі за допомогою схеми включення ТКВП, знаходять змінення внутрішньої індуктивності L_{it} та опору R_{2t} , які викликані зміненням магнітного потоку Φ_{2t} , причому унаслідок варіювання частоти f магнітного поля ТКВП, магнітний потік Φ_{2t} займає відповідну до його значення, глибину проникнення магнітного поля δ у зразок рідини. Досліджувана математична модель «ТКВП – зразок рідини», виражена системою рівнянь

$$\begin{cases} L_{in} = f_1(d, \chi, t) \\ \Omega_{in} = f_2(d, \chi, t) \\ \frac{\chi_1}{\chi_t} - 1 = \alpha \cdot (t - t_1) \end{cases}, \quad (1)$$

де d – діаметр зразка стічних вод; ρ_1 – питомий електричний опір зразка стічних вод при початковій температурі; α – температурний коефіцієнт опору, який знаходять експериментальним шляхом; t_1 – початкова температура зразка рідини стічних вод.

На рис. 2, наведено схему КЕП, для визначення електричних та температурних параметрів зразків магнітних та електролітичних рідин. Слід визначити, що включення КЕП в мостову схему, яка працює на змінному струмі (наприклад, при використанні мостів $R5084$, $R5085$) має цілу низку переваг, а саме: досить висока точність, автоматичне врівноважування, цифровий відлік. Таким чином, в схемі на рис.1, скляна

трубка з рідиною та повздовжнім струмом, представляє собою одночасно і зразок й контактний електромагнітний перетворювач [3]. Схема, включає до себе: КЕП, який представлено на рис. 2, у вигляді послідовно увімкненого опору R та індуктивності L , нуль-індикатор НІ, магазини змінних опорів та індуктивностей R_{\sim} і L_{\sim} , опори R_1 і R_2 , генератор Γ , частотомір \mathcal{C} , компенсуючу ємність C_{5025} , зразок Z , що контролюється, гріючий пристрій ГП (для нагрівання Z в процесі контролю фізико-хімічних параметрів рідини). Сутність даної реалізації, полягає у тому, що зразок рідини має електричний опір R та сумарну індуктивність L_{Σ} , яка включає до себе внутрішню і зовнішню індуктивності, тобто L_i та L_e , всі ці компоненти сигналів КЕП залежать від фізико-хімічних параметрів зразка рідини [6]. У суміжне зі зразком плече моста увімкнуті магазини змінних опорів та індуктивностей, тобто R_{\sim} і L_{\sim} . Задля досягнення рівноваги моста, яке фіксується нуль-індикатором НІ, необхідно застосування двох опорів R_1 і R_2 . Міст живиться від генератора Γ синусоїдальних сигналів. Компенсуючу ємність C_{5025} – призначено для компенсації зовнішньої індуктивності L_e . Частота живлячої напруги контролюється частотоміром \mathcal{C} . Також передбачено гріючий пристрій – ГП, для змінення температури зразка в процесі контролю.

Алгоритм контролю електричних та температурних параметрів зразків рідинних середовищ полягає у наступному, спочатку знаходять зовнішню індуктивність L_e , яку обумовлено проходженням магнітного потоку зовні зразка рідини

$$L_e = \frac{\mu_0 \cdot l}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{2l}{a_p} - 1 \right) \quad (1)$$

Далі вимірюють напругу $U_{\text{п}}$ та фазовий кут зсуву φ (поміж струмом I у зразку рідині, що контролюється та цією ж напругою U), визначають внутрішню індуктивність L_{it} та знаходять індуктивність L_0 при частоті магнітного поля $f = 0$, за формулою

$$L_0 = \frac{\mu_0 \cdot l}{8\pi}, \quad (2)$$

де l – довжина скляної трубки зі зразком рідини, що контролюється.

Нормовану внутрішню індуктивність визначають за формулою

$$L_{in} = \frac{L_{it}}{L_0}. \quad (3)$$

де L_{it} – внутрішня індуктивність рідини на змінному струмі.

Далі при вимкненому нагрівачі Н, встановлюють робочу точку на залежності нормованої внутрішньої індуктивності від узагальненого параметра x , тобто $L_{int} = F(x)$. При цьому, якщо значення x знаходиться у діапазоні $1 \leq x \leq 6,5$, де чутливість ТКВП є найбільшою, залишають незмінним значення встановленої частоти f магнітного поля ТКВП. У випадку якщо x не потрапляє у заданий діапазон, встановлюють іншу частоту та здійснюють повторні вимірювання компонентів сигналів ТКВП, доки доки значення x не потрапить до діапазону $1 \leq x \leq 6,5$. Далі за допомогою нагрівача змінюють температуру t зразка рідини в діапазоні від 18 до 30 °С та вимірюють компоненти сигналів ТКВП U , φ_t , L_{it} .

Після цього визначають радіус зразка рідини на змінному струмі

$$a_{1p} = \frac{2l_p}{e^{\left(1 + \frac{2\pi L_{e1ym}}{\mu_0 l_p}\right)}} \quad (4)$$

Опір R_{2t} на змінному струмі I , визначають за формулою

$$R_{2t} = \frac{U_n}{I} \cdot \cos \varphi_t. \quad (5)$$

Далі для взаємозв'язку сигналів перетворювача та характеристик зразка, вводять нормований параметр R_{int}

$$R_{int} = \frac{R_t}{R_0}, \quad (6)$$

де R_0 – опір зразка на постійному струмі.

Далі знаходять термозалежний нормований параметр x за функцією перетворення $R_{int} = F(x)$.

У загальному випадку, формула для визначення параметра x , має наступний вигляд

$$x = \sqrt{\mu_0 \cdot \rho \cdot \omega} \quad (7)$$

де μ_0 – магнітна стала, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Гн/м}$; ω – циклічна частота магнітного поля.

Таким чином, для знаходження параметра ρ_t необхідно застосування функції перетворення $R_{int} = F(x)$.

Після цього знаходять питомий електричний опір ρ_t зразка рідини

$$\rho_{p1} = \frac{(a_{1p})^2 \mu_0 2\pi \mu_{rp} f_{1p}}{x_{1p}^2}. \quad (8)$$

Температуру зразка стічних вод t визначають за формулою

$$t = \left(\frac{x_t^2}{x_1^2} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) + t_1 \quad (9)$$

Практичне заняття 2

Визначення компонентів сигналів КВП зі зразками магнітних та немагнітних рідин, що контролюються на двох частотах магнітного поля

Таблиця 2 – Вхідні дані: $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Гн/м}$, $a_{\text{ск.т}} = 10 \cdot 10^{-3} \text{м}$, $a_p = 9 \cdot 10^{-3} \text{м}$, $l_p = 0,5 \text{ м}$

№ прізвища студента в журналі	x_1	x_2	$\rho_r \cdot 10^{-4}$, Ом	μ_{rp}	Тип рідини що контролюється
1	2,7	4,2	2,8	47	Магнітна рідина на основі машинного мастила
2	3,0	4,1	3,15	65	Магнітна рідина на основі конденсаторного мастила
3	3,5	4,5	3,85	52	Магнітна рідина на основі води
4	3,7	4,8	4,1	67	Магнітна рідина на основі BM_3
5	3,4	4,2	3,92	59	Магнітна рідина на основі вакуумного мастила
6	2,9	4,0	0,01	60	Магнітна рідина на вугільно-водневій основі
7	4,4	5,5	0,002	1	5 % розчин сірчаної кислоти H_2SO_4
8	3,4	4,3	3,7	68	Магнітна рідина на основі трансформаторного мастила
9	2,2	3,0	0,016	1	Хлорсульфонова кислота SO_2OHCl
10	5,0	5,96	0,0002	1	Тионил хлористий SOCl_2
11	3,1	4,2	3,5	55	Охолоджуюча рідина з дисперсним магнітним порошком

1. Зробимо розрахунок електричного опору R зразка рідини (під час проходження постійного струму)

$$R_{\pm} = \rho_p \cdot \frac{l_p}{S_p}, \quad (1)$$

де S_p – площа поперечного перерізу зразка рідини, що контролюється.

$$S_p = \pi \cdot a_p^2. \quad (2)$$

2. Задаючись значеннями узагальненого магнітного параметра x (чисельні значення x_{1p} і x_{2p} задані у табл. 1) розрахуємо частоти магнітного поля f_{1p} і f_{2p} КВП, за формулами

$$f_{1p} = \frac{x_{1p}^2 \cdot \rho_p}{2 \cdot \pi \cdot a_p^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_{rp}}, \quad (3)$$

$$f_{2p} = \frac{x_{2p}^2 \cdot \rho_p}{2 \cdot \pi \cdot a_p^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_{rp}}. \quad (4)$$

3. Для визначення нормованого електричного опору R_{np} і нормованої внутрішньої індуктивності $L_{инp}$, необхідно скористатися залежностями $R_{np} = f(x_p)$ і $L_{инp} = f(x_p)$ з урахуванням робіт [5–7], які наведено у таблиці.

4. Визначимо активну частину опору зразка рідини на частотах f_{1p} і f_{2p} , з урахуванням результатів робіт [5–7]

$$\begin{aligned} R_{1p} &= R_{\pm} \cdot R_{н1p}, \\ R_{2p} &= R_{\pm} \cdot R_{н2ж}. \end{aligned} \quad (5)$$

5. Знаходимо внутрішню індуктивність L_{i1p} і L_{i2p} для x_{1p} і x_{2p}

$$L_{i1p} = \frac{L_{ин1p} \cdot \mu_{rp} \mu_0 l_p}{8\pi}, \quad (6)$$

$$L_{i2p} = \frac{L_{ин2p} \cdot \mu_{rp} \mu_0 l_p}{8\pi}. \quad (7)$$

6. Визначимо зовнішню індуктивність L_e за формулою [4]

$$L_e = \frac{\mu_0 \cdot l}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{2l}{a_p} - 1 \right). \quad (8)$$

7. Знаходимо сумарні індуктивності зразка рідини на першій та другій частотах магнітного поля КВП, за допомогою формул

$$L_{\Sigma 1p} = L_{i1p} + L_e, \quad (9)$$

$$L_{\Sigma 2p} = L_{i2p} + L_e. \quad (10)$$

8. Результати розрахунків зведемо у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків компонентів сигналів КВП зі зразком рідини, що контролюється $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; $t_1 = 20$ °С

$R_-,$ Ом	$f_{1p},$ Гц	$f_{2p},$ Гц	$R_{1p},$ Ом	$R_{2p},$ Ом	$L_{i1p},$ Гн	$L_{i2p},$ Гн	$L_e,$ Гн	$L_{\Sigma 1p},$ Гн	$L_{\Sigma 2p},$ Гн

Контрольні питання до практичного заняття 2

1. У чому полягає пряма задача?
2. Фізичний смисл внутрішньої індуктивності L_i ?
3. Які результати розв'язання прямої задачі?
4. Фізичний смисл узагальненого параметра x ?
5. Який вплив температури на очікувані сигнали контактного вихрострумowego перетворювача КВП?

Практичне заняття 3

Визначення параметрів зразка рідини, що контролюється

за допомогою двочастотного контактного електромагнітного метода

Виконаємо зворотню задачу, яка полягає у визначенні відносної магнітної проникності μ_{rp} , питомого електричного опору ρ_p , радіуса зразка рідини a_p при відомих значеннях компонентів сигналів КВП $R_-, R_p, L_{ip}, L_e, L_{\Sigma p}$ отриманих в результаті розрахунків у розділі 3. У свою чергу, визначення радіусу a_p зразка рідини необхідно у випадку, якщо здійснюється контроль параметрів зразка магнітної рідини. Тому що під впливом магнітного поля колоїдні частинки магнітного порошку

притягуються одна до одної, створюючи монолітну структуру стрижня. При цьому, радіус на частоті f_{1p} може відрізнятись від радіуса на частоті f_{2p} зразка однакової рідини.

Нижче наведено алгоритм розрахунку параметрів зразків рідин, що контролюються за допомогою КВП.

1. Відносну магнітну проникність зразків рідин знаходимо за формулою

$$\mu_{rp} = \frac{(L_{\Sigma 1p} - L_{\Sigma 2p}) \cdot 8\pi}{\mu_0 \cdot (L_{in1p} - L_{in2p}) \cdot l}. \quad (11)$$

2. З урахуванням значення магнітної проникності μ_{rp} отриманого за формулою (11), знаходимо уточнюванні значення індуктивностей $L_{i1p,ym}$, $L_{e1,ym}$, $L_{i2p,ym}$, $L_{e2,ym}$ на частотах f_{1p} і f_{2p} , за формулами

$$L_{i1p,ym} = \frac{L_{in1p} \cdot \mu_{rp} \mu_0 l_p}{8\pi}. \quad (12)$$

$$L_{e1,ym} = L_{\Sigma 1p} - L_{i1p,ym}, \quad (13)$$

$$L_{i2p,ym} = \frac{L_{in2p} \cdot \mu_{rp} \mu_0 l_p}{8\pi}, \quad (14)$$

$$L_{e2,ym} = L_{\Sigma 2p} - L_{i2p,ym}. \quad (15)$$

3. Визначимо радіус рідини a_{1p} і a_{2p} на частотах f_{1p} і f_{2p}

$$a_{1p} = \frac{2l_p}{e^{\left(1 + \frac{2\pi L_{e1,ym}}{\mu_0 l_p}\right)}}, \quad (16)$$

$$a_{2p} = \frac{2l_p}{e^{\left(1 + \frac{2\pi L_{e2,ym}}{\mu_0 l_p}\right)}}. \quad (17)$$

4. Визначимо питомий електричний опір зразка рідини за формулами

$$\rho_{p1} = \frac{(a_{1p})^2 \mu_0 2\pi \mu_{rp} f_{1p}}{x_{1p}^2}, \quad (18)$$

$$\rho_{p2} = \frac{(a_{2p})^2 \mu_0 2\pi \mu_{rp} f_{2p}}{x_{2p}^2}. \quad (19)$$

5. Результати розрахунків зведемо у табл. 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунків параметрів зразка рідини

$$t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}; x_{1p} =; x_{2p} =; f_{1p} =; f_{2p} =;$$

μ_{rp}	$L_{i1p \text{ ум}}, \text{ Гн}$	$L_{e1 \text{ ум}}, \text{ Гн}$	$L_{i2p \text{ ум}}, \text{ Гн}$	$L_{e2 \text{ ум}}, \text{ Гн}$	$a_{1p}, \text{ м}$	$a_{2p}, \text{ м}$	$\rho_{p1}, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$\rho_{p2}, \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Контрольні питання до практичного заняття 3

1. Сформулювати зворотню задачу.
2. Фізичний смисл питомого електричного опору ρ ?
3. Сутність електромагнітних методів контролю параметрів рідинних середовищ?
4. Переваги контактних електромагнітних методів контролю параметрів рідинних середовищ?
5. Фізичний смисл відносної магнітної проникності μ_r ?

Чисельний приклад. Визначення електричних та температурних параметрів зразків магнітних та електролітичних рідин контактним електромагнітним перетворювачем.

Варіант

1. Визначимо чисельне значення електричного опору R зразка рідини при проходженні постійного струму

$$R_{\text{н}} = \rho_p \cdot \frac{l_p}{S_p} = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0,5}{3,14 \cdot 9^2 \cdot 10^{-6}} = 0,688 \text{ (Ом)}.$$

2. Розрахуємо частоти магнітного поля КВП f_{1p} і f_{2p}

$$f_{1p} = \frac{x_{1p}^2 \cdot \rho_p}{2 \cdot \pi \cdot a_p^2 \cdot \mu_o \cdot \mu_{rp}} = \frac{3,1^2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9^2 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 55} = 95621 \text{ (Гц)},$$

$$f_{2p} = \frac{x_{2p}^2 \cdot \rho_p}{2 \cdot \pi \cdot a_p^2 \cdot \mu_o \cdot \mu_{rp}} = \frac{4,2^2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9^2 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 55} = 175521 \text{ (Гц)}.$$

3. Знаходимо чисельні значення параметрів $R_{\text{н}}$ і $L_{\text{ін}}$, використовуючи табличні залежності. Чисельне значення нормованого електричного опору $R_{\text{н}}$ на частоті $f_{1p} = 95621 \text{ (Гц)}$, дорівнює $R_{\text{н}1p} = 1,35135274$ на частоті $f_{2p} = 175521 \text{ (Гц)}$, $R_{\text{н}2p} = 1,75270190$. Чисельні значення нормованих внутрішніх індуктивностей на частотах f_{1p} і f_{2p} склали відповідно

$$L_{in1p} = 1,136 \cdot 10^{-6} \text{ Гн і } L_{in2p} = 0,903 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.}$$

4. Визначимо активну частину опору зразка рідини

$$R_{1p} = R_{\Sigma} \cdot R_{n1p} = 0,688 \cdot 1,35135274 = 0,93 \text{ (Ом)},$$

$$R_{2p} = R_{\Sigma} \cdot R_{n2p} = 0,688 \cdot 1,75270190 = 1,206 \text{ (Ом)}.$$

5. Розрахуємо внутрішню індуктивність зразка рідини, тобто L_{i1p} та L_{i2p} для $x_{1p} = 3,10$ і $x_{2p} = 4,2$

$$L_{i1p} = \frac{L_{in1p} \cdot \mu_r \mu_0 l_p}{8\pi} = \frac{0,82959 \cdot 55 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{8 \cdot 3,14} = 1,136 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн)},$$

$$L_{i2p} = \frac{L_{in2p} \cdot \mu_r \mu_0 l_p}{8\pi} = \frac{0,6566 \cdot 55 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{8 \cdot 3,14} = 0,903 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн)}.$$

6. Знаходимо зовнішню індуктивність L_e

$$L_e = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{2l}{a_p} - 1 \right) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 0,5}{9 \cdot 10^{-3}} - 1 \right) = 0,371 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн)}.$$

7. Визначимо сумарні індуктивності $L_{\Sigma 1p}$ і $L_{\Sigma 2p}$ КВП

$$L_{\Sigma 1p} = L_{i1p} + L_e = 1,136 \cdot 10^{-6} + 0,371 \cdot 10^{-6} = 1,507 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн)},$$

$$L_{\Sigma 2p} = L_{i2p} + L_e = 0,903 \cdot 10^{-6} + 0,371 \cdot 10^{-6} = 1,274 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн)}.$$

8. Результати розрахунків зведемо у табл. 2.

Чисельний приклад. Визначення компонентів сигналів КВП зі зразками магнітних та немагнітних рідин, що контролюються на двох частотах магнітного поля.

Варіант

1. Знаходимо відносну магнітну проникність зразка рідини μ_{rp}

$$\mu_{rp} = \frac{(L_{\Sigma 1p} - L_{\Sigma 2p}) \cdot 8\pi}{\mu_0 \cdot (L_{in1p} - L_{in2p}) \cdot l} = \frac{(1,507 \cdot 10^{-6} - 1,274 \cdot 10^{-6}) \cdot 8 \cdot 3,14}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot (0,82959427 - 0,65663243) \cdot 0,5} = 54,84$$

2. З урахуванням отриманого чисельного значення $\mu_{rp} = 54,84$, знаходимо $L_{i1p \text{ ум}}$, $L_{e1 \text{ ум}}$, $L_{i2p \text{ ум}}$, $L_{e2 \text{ ум}}$, тобто уточнюванні індуктивності КВП на першій і другій частоті f_{1p} і f_{2p} :

а) визначимо внутрішню уточнювану індуктивність КВП на частоті

f_{1p}

$$L_{i1p\ ym} = \frac{L_{in1p} \cdot \mu_{rp} \mu_0 l_p}{8\pi} = 0,82959427 \cdot 54,84 \cdot \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{8 \cdot 3,14} = 1,137 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн);}$$

б) розрахуємо зовнішню уточнювану індуктивність на частоті f_{1p}

$$L_{e1\ ym} = L_{\Sigma 1p} - L_{i1p\ ym} = 1,507 \cdot 10^{-6} - 1,137 \cdot 10^{-6} = 0,3696 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн);}$$

в) знаходимо уточнювану індуктивність $L_{i2p\ ym}$ на частоті f_{2p} КВП

$$L_{i2p\ ym} = \frac{L_{in2p} \cdot \mu_{rp} \mu_0 l_p}{8\pi} = 0,65663243 \cdot 54,84 \cdot \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{8 \cdot 3,14} = 0,9002 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн);}$$

г) визначимо зовнішню уточнювану індуктивність $L_{e2\ ym}$ на частоті f_{2p}

$$L_{e2\ ym} = L_{\Sigma 2p} - L_{i2p\ ym} = 1,274 \cdot 10^{-6} - 0,9002 \cdot 10^{-6} = 0,3738 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн).}$$

3. Визначимо радіус зразка рідини a_{1p} і a_{2p} на частотах f_{1p} і f_{2p}

$$a_{1p} = \frac{2l_p}{e^{\left(1 + \frac{2\pi L_{e1}}{\mu_0 l_p}\right)}} = \frac{2 \cdot 0,5}{e^{\left(1 + \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,3696 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}\right)}} = 9,13 \cdot 10^{-3} \text{ (м)},$$

$$a_{2p} = \frac{2l_p}{e^{\left(1 + \frac{2\pi L_{e2}}{\mu_0 l_p}\right)}} = \frac{2 \cdot 0,5}{e^{\left(1 + \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,3738 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}\right)}} = 8,76 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

4. Розрахуємо чисельні значення питомого електричного опору ρ_{p1} і

ρ_{p2}

$$\begin{aligned} \rho_{p1} &= \frac{(a_{1p})^2 \mu_0 2\pi \mu_{rp} f_{1p}}{x_{1p}^2} = \\ &= (9,13 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 54,84 \cdot 95621}{(3,14)^2} = 3,502 \cdot 10^{-4} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{p2} &= \frac{(a_{2p})^2 \mu_0 2\pi \mu_{rp} f_{2p}}{x_{2p}^2} = \\ &= (8,76 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 54,84 \cdot 175521}{(4,1)^2} = 3,47 \cdot 10^{-4} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}. \end{aligned}$$

Практичне заняття 4

Визначення СКВ результату багаторазових вимірювань

фізико-хімічних параметрів рідинних середовищ

Під час виконання повторних вимірювань фізичної величини виникають систематичні та (або) випадкові похибки вимірювань. Роздільне визначення випадкових та систематичних похибок вимірювань надає змогу щодо зменшення впливу цих складових на основну похибку вимірювань [1, 2]. Систематичну складову похибки вимірювань є можливим усунути шляхом введення поправки або залежностей (кривих) поправок. Наприклад, є зразковий амперметр за допомогою якого вимірюють значення струму $I_1 = 1\text{ А}$. При цьому, результат виміру електричного струму за допомогою робочого амперметра склав $I_2 = 0,9\text{ А}$. Звідси, для того щоб усунути систематичну похибку вимірювання електричного струму необхідно ввести поправку $\Pi = 0,1\text{ А}$: Таким чином, для усунення систематичної похибки вимірювань

$$I = 0,9\text{ А} + 0,1\text{ А} = 1\text{ А}.$$

Випадкова похибка обумовлена дією неконтрольованого впливу випадкових факторів і проявляється у хаотичній зміні результатів повторних спостережень. Під неконтрольованим впливом розуміють сукупність факторів, які неможливо наперед передбачити. Тому врахувати їх можна тільки за допомогою методів теорії ймовірностей та математичної статистики. Для того, щоб виявити випадкову похибку, вимірювання необхідно провести декілька разів (тобто виконати багаторазові або рівноточні вимірювання). У свою чергу, випадкову похибку усунути неможливо, її значення можна тільки зменшити, збільшуючи кількість вимірів (при однакових зовнішніх умовах). При цьому, найбільш достовірним результатом вимірювань є середнє арифметичне значення отриманих результатів

Передусім визначають середнє арифметичне значення результатів за формулою [1, 2]:

$$\bar{a}_i = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_n}{n} = \frac{\sum_1^n a_i}{n} \quad (14)$$

Розподіл випадкових похибок вимірювань описується так званим нормальним законом або законом Гауса. Функція густини нормального розподілу випадкових похибок має вигляд [1, 2]:

$$y(\delta) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot G}} \cdot e^{\frac{-\delta^2}{2 \cdot G^2}} \quad (15)$$

де δ – значення випадкової похибки, G – середнє квадратичне відхилення сукупності цих похибок. Конкретні значення похибок визначаються за формулою [1, 2]

$$\delta = a_i - A$$

(16)

де a_i – виміряне значення, A – дійсне значення вимірюваної величини, $\bar{a}_i = A$.

У якості міри, що характеризує точність приладу, метода або сукупності вимірів, обирають середню квадратичну похибку (або середнє квадратичне відхилення СКВ), що визначається за формулою [1, 2]

$$G = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \bar{a}_i^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (17)$$

На практиці необхідно включати результат вимірювань в довірчий інтервал вимірюваної величини з урахуванням коефіцієнта Стюдента. В табл. 4, наведено коефіцієнти Стюдента для різних значень довірчої ймовірності P та різних значеннях n числа вимірювань.

Таблиця 4 – Значення коефіцієнтів Стюдента для різних значень числа вимірювань n та ймовірностей P

n	$P = 0,90$	$P = 0,95$	$P = 0,99$
2	6,31	12,7	63,7
3	2,92	4,3	9,92
4	2,35	3,18	5,84
5	2,13	2,78	4,6
6	2,01	2,57	4,03
7	1,94	2,45	3,71
8	1,89	2,36	3,5
9	1,86	2,31	3,36
10	1,83	2,26	3,25

Далі включають результат багатократних вимірювань у довірчий інтервал

вимірної величини [1, 2]

$$A = A_{cp} \pm Gt_{\alpha}$$

З формули (15) випливає, що результат одного вимірювання є статистично недостовірним, тому що при $n = 1$ стандартне відхилення S і довірчий інтервал середнього значення Δx приймає нескінченно велику величину.

Статистичне оброблення результатів вимірювань є важливим фактором зменшення похибок вимірювання у всіх галузях науки, виробництва, охорони навколишнього середовища.

Завдання для самостійного виконання. Проведена задана кількість вимірів діаметра скляної трубки d з рідиною стічних вод, необхідно знайти абсолютні похибки окремих вимірів діаметра δd скляної трубки, абсолютну середньоквадратичну похибку СКО результатів вимірювань діаметра скляної трубки, результат вимірів діаметра d , включити у довірчий інтервал

Таблиця 5

№ прізвища аспіранта в журналі	Значення результатів вимірів діаметра d_n скляної трубки	n – число вимірів діаметра скляної трубки	Значення довірчої вірогідності P
1	2,7; 2,71; 2,73; 2,75; 2,78; 2,81; 2,88	7	0,95
2	3,0; 3,15; 3,16; 3,18; 3,19	5	0,95
3	1,6; 1,61; 1,63; 1,65; 1,66; 1,68; 1,69; 1,70	8	0,90
4	0,6; 0,67; 0,64; 0,69; 0,68; 0,69; 0,70; 0,71; 0,72	9	0,99
5	4,8; 4,81; 4,83; 4,85; 4,92	5	0,99
6	20,4; 20,42; 20,44; 20,46; 20,47; 20,51	6	0,95
7	5,0; 5,26; 5,18; 5,3; 5,6	5	0,90
8	8,8; 8,83; 8,88; 8,99; 9,01; 9,02; 9,03; 9,05; 9,06; 9,08	10	0,90

9	7,8; 7,81; 7,83; 7,85; 7,92; 7,94	6	0,99
10	10,20; 10,15; 10,18; 10,21; 10,19	5	0,90
11	30,12; 30,0; 30,10; 29,80; 29,90; 30,10	6	0,95

Контрольні питання до практичного заняття 4

1. Закони розподілу похибок вимірювань та вимірних величин.
2. Характеристики випадкової величини.
3. Щільність розподілу нормального закону.
4. Оцінка точності вимірювань однієї фізичної величини.
5. Довірчий інтервал. Довірча вірогідність.

Чисельний приклад. Визначення абсолютних похибок окремих вимірів діаметра δd скляної трубки, абсолютної середньоквадратичної похибки СКО результатів вимірювань діаметра скляної трубки.

1. Спочатку необхідно знайти середнє арифметичне значення результатів вимірювань діаметрів скляної трубки

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6}{6} = \frac{30,12 + 30,0 + 30,1 + 29,8 + 29,9 + 30,1}{6} = 30,0 \text{ мм.}$$

2. Далі визначають абсолютні похибки окремих вимірів, за формулою

$$\delta = a_i - A,$$

тобто для конкретного випадку

$$\Delta d_n = d_1 - d_{cp}.$$

Далі підставляючи чисельні данні отримаємо

а) $\Delta d_1 = 30,12 - 30,0 = 0,12 \text{ мм};$

б) $\Delta d_2 = 30,00 - 30,0 = 0 \text{ мм};$

в) $\Delta d_3 = 30,1 - 30,0 = 0,1 \text{ мм};$

г) $\Delta d_4 = 29,8 - 30,0 = -0,2 \text{ мм};$

д) $\Delta d_5 = 29,9 - 30,0 = -0,1 \text{ мм};$

е) $\Delta d_6 = 30,1 - 30,0 = 0,1 \text{ мм}.$

3. Визначають абсолютну середнє квадратичну похибку вимірювань, за формулою

$$G = \sqrt{\frac{\Delta d_1^2 + \Delta d_2^2 + \Delta d_3^2 + \Delta d_4^2 + \Delta d_5^2 + \Delta d_6^2}{n(n-1)}}$$

$$G = \sqrt{\frac{(0,12)^2 + 0 + (0,1)^2 + (-0,2)^2 + (-0,1)^2 + (0,1)^2}{6(6-1)}} = 0,05 \text{ мм.}$$

Таким чином, абсолютна середнє квадратична похибка вимірювань дорівнює $G = 0,05$ мм.

4. Далі включають результат багатократних вимірювань у довірчий інтервал вимірюваної величини

$$A = A_{cp} \pm Gt_{\alpha},$$

$$d = d_{cp} \pm G \cdot 2,57 = 30,0 \pm 0,05 \cdot 2,57$$

Аналізуючи функцію нормального розподілу, можна сформулювати основні властивості випадкових похибок вимірювань.

1. Зі зменшенням абсолютних значень похибок зростає частота їх появи.

2. Абсолютні значення ε , зростаючи, досягають деякого значення, за яким ймовірність їх появи практично дорівнює нулю. Ця властивість дозволяє встановлювати для кожного конкретного виду вимірювань граничні похибки, тобто вимірювання можна вважати грубими, якщо значення похибок більші за певні допуски.

3. Поява рівних за абсолютною величиною, але протилежних за знаком похибок рівноймовірна.

4. Середнє арифметичне значення сукупності випадкових похибок ε прямує до нуля при необмеженому зростанні їх числа. Ця властивість впливає з властивості математичного сподівання випадкових похибок і може бути використана для знаходження випадкових похибок.

Практичне заняття 5

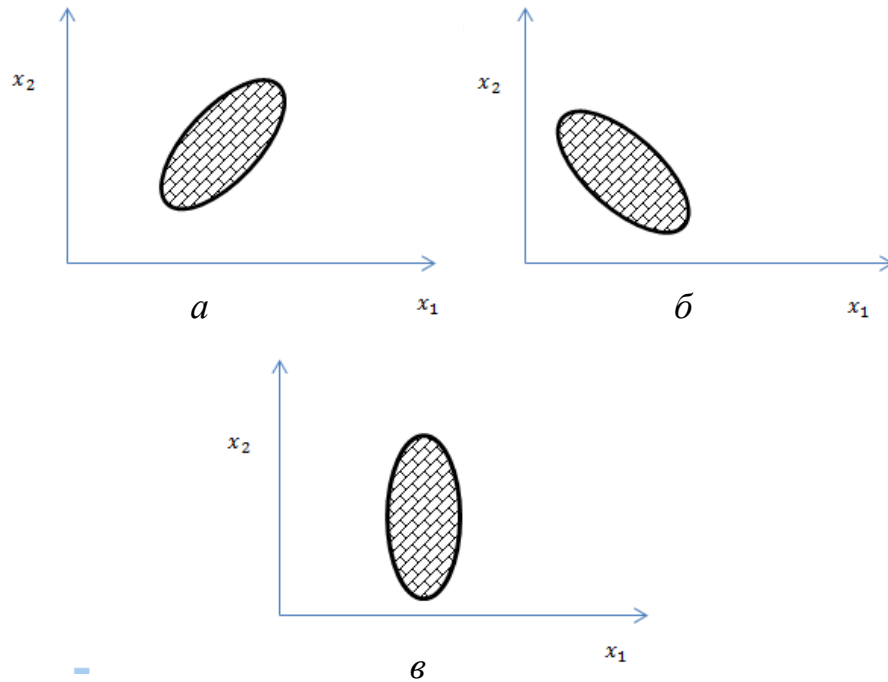
Кореляційний аналіз. Визначення коефіцієнта кореляції

Кореляційний аналіз – метод, який дозволяє виявити залежність поміж декількох характеристик об'єкта.

Припустимо виконання незалежних вимірювань різних параметрів у однакового типу об'єктів. При цьому, з вимірюваних даних можна отримати якісно нову інформацію про взаємозв'язок досліджуваних параметрів [1, 2].

Наприклад, здійснюються вимірювання питомої електропровідності та

концентрації стічних вод x_1 та x_2 , при цьому кожний вимір представлено точкою у двумірному просторі. Величини x_1 та x_2 носять випадковий характер під час дослідження слабких електролітичних рідин, причому у загальному випадку зі зростанням або зі зменшенням концентрації, між цими величинами існує залежність – величини корелюють. На рис., наведені три випадки, які можливі під час досліджень зразків стічних вод



На рис. 2 *a*, збільшення першого параметра призводить до збільшення другого параметра – додатна кореляція; збільшення першого параметра призводить до спадання другого параметра (*б*) – від’ємна кореляція; випадок (*в*) пов’язано з відсутністю кореляції, (у цьому випадку величини x_1 та x_2 є незалежними).

Для опису найважливіших властивостей випадкового процесу при багаторазових вимірюваннях однієї фізичної величини, при багатопараметрових вимірюваннях декількох однорідних або разнорідних фізичних величин, під час досліджень кореляції рядів випадкових величин застосовують автокореляційну функцію (18) та взаємну кореляційну функцію (19).

$$S_{xx}(t_1, t_2) = f[x(t_1) \cdot x(t_2)] \quad (18)$$

$$S_{xy}(t_1, t_2) = f[x(t_1) \cdot y(t_2)] \quad (19)$$

де $x(t_1)$ $x(t_2)$ $y(t_2)$ функції випадкового процесу, а S_{xx} та S_{yy} – спектральна густина за множиною спостережень.

При цьому, якщо здійснюється дослідження двох рядів випадкових величин, потрібно розглядати три спектральні густини S_{xx} , S_{yy} , S_{xy} (наприклад, під час досліджень домішок у харчових продуктах, виражених у грамах та виходу кінцевого продукту, вираженого у відсотках).

Для чисельного взаємозв'язку параметрів випадкових процесів вводять коефіцієнти кореляції [1, 2]

$$\eta = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} \quad (20)$$

Оскільки основою для розрахунків коефіцієнтів кореляції є взаємодія випадкових величин, коефіцієнт кореляції також є випадковою величиною.

Контрольні питання до практичного заняття 5

1. Основні етапи статистичного дослідження.
2. Методика визначення середніх величин варіаційних рядів.
3. Методика проведення кореляційного аналізу.
4. Графічні зображення статистичних даних.
5. Характеристики кореляційного розподілу.

Нижче наведені вихідні данні для виконання завдання, яке передбачає одинадцять варіантів:

Вихідні данні для виконання практичного заняття 5

Варіант 1

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл. 10. Користуючись даними табл. 10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції.
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки.
- в) знайти СКВ виходу кінцевого продукту.

Таблиця 6

№ партії	Кількість	Вихід кінцевого
----------	-----------	-----------------

продукції	домішки, гр	продукта, %
1	4,1	99,1
2	4,5	98,9
3	4,3	98,7
4	4,4	98,6
5	4,6	98,8
6	4,8	98,9

Продовження таблиці 6

7	4,5	98,2
8	4,7	98,4
9	4,9	98,3
10	5,0	98,5
11	5,1	98,7
12	4,4	99,3
13	4,7	98,5
14	4,9	99,4
15	5,3	98,8

Варіант 2

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл. 10. Користуючись даними табл. 10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції.
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки.
- в) знайти СКВ виходу кінцевого продукту.

Таблиця 7

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукта, %
1	7,9	100,8
2	7,9	100,6
3	7,3	100,8
4	7,7	100,2
5	7,1	100,5
6	7,7	100,2
7	7,7	100,2

8	7,9	100,4
9	7,5	100,6
10	7,3	100,6
11	7,6	100,2
12	7,9	100,4
13	7,8	100,4
14	7,4	100,9
15	7,8	100,1

Варіант 3

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл.10. Користуючись даними табл.10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції.
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки.
- в) знайти СКВ виходу кінцевого продукту.

Таблиця 8

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукта, %
1	1,2	90,8
2	1,1	90,6
3	1,3	90,8
4	1,7	90,2
5	1,6	90,5
6	1,6	90,2
7	1,5	90,2
8	1,4	90,4
9	1,3	90,6
10	1,3	90,6
11	1,6	90,2
12	1,9	90,2
13	1,8	90,2
14	1,4	90,2
15	1,8	90,1

Варіант 4

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл.10. Користуючись даними табл. 10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції.
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки.
- в) знайти СКВ вихіду кінцевого продукту.

Таблиця 9

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукта, %
1	2,9	100,0
2	2,8	100,7
3	2,3	100,9
4	2,7	100,2
5	2,1	100,5
6	2,7	100,2
7	2,7	100,2
8	2,9	100,4
9	2,5	100,6
10	2,3	100,6
11	2,6	100,2
12	2,9	100,4
13	2,8	100,4
14	2,4	100,9
15	2,8	100,1

Варіант 5

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл.10. Користуючись даними табл. 10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції.
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки.
- в) знайти СКВ вихіду кінцевого продукту.

Таблиця 10

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукту, %
1	3,9	99,8
2	3,9	97,6
3	3,3	96,8
4	3,7	101,2

Продовження таблиці 10

5	3,1	102,5
6	3,7	91,2
7	3,7	88,2
8	3,9	90,4
9	3,5	86,6
10	3,3	89,6
11	3,6	88,2
12	3,9	88,4
13	3,8	103,4
14	3,4	87,4
15	3,8	89,1

Варіант 6

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл. 10. Користуючись даними табл. 10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції.
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки.
- в) знайти СКВ виходу кінцевого продукту.

Таблиця 11

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукту, %
1	6,8	100,8
2	6,7	100,6
3	9,5	100,8
4	6,4	101,2

5	6,2	100,5
6	6,1	100,8
7	6,7	98,2
8	6,9	100,4
9	6,5	96,6
10	6,3	99,6

Продовження таблиці 11

11	6,6	98,2
12	6,9	98,4
13	6,8	97,4
14	6,4	97,4
15	6,8	99,1

Варіант 7

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл. 10. Користуючись даними табл. 10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції.
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки.
- в) знайти СКВ вихіду кінцевого продукту.

Таблиця 12

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукту, %
1	9,8	100,3
2	9,8	101,2
3	9,3	102,5
4	9,7	107,0
5	9,1	102,3
6	9,5	109,0
7	9,5	100,0
8	8,8	101,2
9	9,4	106,4
10	9,6	109,3

11	9,7	108,0
12	9,8	108,1
13	9,7	107,2
14	9,3	107,6
15	9,7	109,8

Варіант 8

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл. 10. Користуючись даними табл. 10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції.
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки.
- в) знайти СКВ виходу кінцевого продукту.

Таблиця 13

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукту, %
1	6,8	100,8
2	6,7	100,6
3	9,5	100,8
4	6,4	101,2
5	6,2	100,5
6	6,1	100,8
7	6,7	98,2
8	6,9	100,4
9	6,5	96,6
10	6,3	99,6
11	6,6	98,2
12	6,9	98,4
13	6,8	97,4
14	6,4	97,4
15	6,8	99,1

Варіант 9

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл. 10. Користуючись даними табл. 10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції;
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки;
- в) знайти СКВ виходу кінцевого продукту.

Таблиця 14

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукта, %
1	4,2	90,8
2	4,1	90,6
3	4,3	90,8
4	4,7	90,2
5	4,6	90,5
6	4,6	90,2
7	4,5	90,2
8	4,4	90,4
9	4,3	90,6
10	4,3	90,6
11	4,6	90,2
12	4,9	90,2
13	4,8	90,2
14	4,4	90,2
15	4,8	90,1

Варіант 10

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл. 10. Користуючись даними табл. 10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції.
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки.
- в) знайти СКВ виходу кінцевого продукту.

Таблиця 15

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукта, %
1	0,9	100,8
2	0,9	100,6
3	0,3	102,3
4	0,7	103,2

Продовження таблиці 15

5	0,1	104,5
6	0,7	91,2
7	0,7	88,2
8	0,9	90,4
9	0,5	86,6
10	0,3	89,6
11	0,6	88,2
12	0,9	88,4
13	0,8	103,4
14	0,4	87,4
15	0,8	89,1

Варіант 11

Результати дослідження стосовно кількості добавки та виходу кінцевого продукту наведено у табл. 10. Користуючись даними табл. 10, необхідно визначити:

- а) коефіцієнт кореляції;
- б) знайти середнє квадратичне відхилення (СКВ) кількості добавки;
- в) знайти СКВ виходу кінцевого продукту.

Таблиця 16 – Вхідні данні

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукта, %
1	8,9	90,8
2	8,9	88,6
3	9,3	92,8

4	8,7	87,2
5	9,1	92,5
6	8,7	91,2
7	8,7	88,2
8	8,9	90,4
9	8,5	86,6

Продовження таблиці 16

10	8,3	89,6
11	8,6	88,2
12	8,9	88,4
13	8,8	87,4
14	8,4	87,4
15	8,8	89,1

Розв'язок завдання

1. Позначимо кількість добавки x_i .
2. Позначимо кінцевий вихід продукту y_i .
3. Визначимо середні арифметичні значення \bar{x}_i та \bar{y}_i .
4. Знаходимо різницю поміж випадковим та середнє арифметичним значенням кількості добавки $x_i - \bar{x}$.

5. Для визначення спектральної густини S_{xx} кількості добавки, знаходимо різницю квадратів $(x_i - \bar{x})^2$, для цього потрібно піднести до квадрата всі чисельні значення стовпця 6.

6. Знаходимо спектральну густину S_{xx} у вигляді суми чисельних значень стовпця 7, при цьому $S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$, при цьому $S_{xx} = 0,95$.

7. Знаходимо різницю поміж випадковим та середнє арифметичним значенням виходу кінцевого продукта $y_i - \bar{y}$.

8. Для визначення спектральної густини виходу кінцевого продукта S_{yy} , знаходимо різницю квадратів $(y_i - \bar{y})^2$.

9. Знаходимо спектральну густину S_{yy} , за формулою $S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$, при цьому $S_{yy} = 208,01$.

10. Для визначення спектральної густини S_{xy} знаходимо доданок $(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$.

11. Знаходимо спектральну густину S_{xy} , вигляді суми чисельних значень стовпця 10, при цьому $S_{xy} = 5,99$.

12. Далі потрібно визначити коефіцієнт кореляції

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} = \frac{5,99}{\sqrt{0,95 \cdot 208,01}} = \frac{5,99}{14,06} = 0,43.$$

13. Знаходимо СКВ кількості добавки $g_x = \sqrt{S_{xx}} = \sqrt{0,95} = 0,97$.

14. Знаходимо СКВ виходу кінцевого продукту

$$g_y = \sqrt{S_{yy}} = \sqrt{208,01} = 14,42.$$

В табл. 17, наведено результати розрахунків основних характеристик, які описують випадковий процес.

Таблиця 17

№ партії продукції	Кількість домішки, гр	Вихід кінцевого продукта, %	x_i	y_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})$
1	8,9	90,8	8,9	90,8	0,14	0,02	0,61	0,37	0,09
2	8,9	88,6	8,9	88,6	0,14	0,02	-1,59	2,53	-0,22
3	9,3	92,8	9,3	92,8	0,54	0,29	2,61	6,81	1,41
4	8,7	87,2	8,7	87,2	-0,06	0	-2,99	8,94	0,18
5	9,1	92,5	9,1	98,5	0,34	0,12	8,31	69,06	2,83
6	8,7	91,2	8,7	99,2	-0,06	0	9,01	81,18	-0,54
7	8,7	88,2	8,7	88,2	-0,06	0	-1,99	3,96	0,12
8	8,9	90,4	8,9	90,4	0,14	0,02	0,21	0,04	0,021
9	8,5	86,6	8,5	86,6	-0,26	0,07	-3,59	12,89	0,93
10	8,3	89,6	8,3	89,4	-0,46	0,21	-0,79	0,62	0,36
11	8,6	88,2	8,6	88,9	-0,16	0,03	-1,29	1,66	0,21
12	8,9	88,4	8,9	88,4	0,14	0,02	-1,79	3,20	-0,25
13	8,8	87,4	8,8	87,4	0,04	0	-2,79	7,78	-0,11
14	8,4	87,4	8,4	87,4	-0,36	0,13	-2,79	7,78	1,00

15	8,8	89,1	8,8	89,1	0,04	0	-1,09	1,19	-0,04
			$\bar{x}_i =$ 8,76	$\bar{y}_i =$ 90,19		$S_{xx} =$ = 0,95		$S_{yy} =$ = 208,01	$S_{xy} = 5,99$

4. Самостійна робота

Самостійна робота студента є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у час, вільний від обов'язкових навчальних занять.

Мета самостійної роботи студентів: набуття додаткових знань, перевірка отриманих знань на практиці, вироблення фахових та дослідницьких вмінь та навичок.

Навчальний час, відведений для самостійної роботи студента, регламентується робочим навчальним планом повинен становити не менше 1/3 та не більше 2/3 загального обсягу навчального часу студента, відведеного для вивчення дисципліни.

Самостійна робота студента забезпечує система навчально-методичних засобів, передбачених для вивчення навчальної дисципліни: підручник, навчальні та методичні посібники, конспект лекцій викладача, навчально-методичний комплекс дисципліни.

Теми на самостійну роботу

Основні показники якості атмосферного повітря.
Нормування якості ґрунту. Показники якості ґрунту.
Поняття екологічної стійкості ґрунту.
Основні нормативні показники якості води.
Методи інтегрального оцінювання якості води.
Метод комплексного оцінювання рівня забруднення води за визначеною лімітуючою ознакою шкідливості.
Екотоксикологічний метод оцінювання ступеню забруднення води.
Значення вимірювальних величин. Одиниці вимірювання. Розмірність.
Контроль органічного вуглецю методами фотохімічного спалювання.
Основні поняття математичної статистики. Нерівномірний та рівномірний розподіли. Нормальний закон розподілу Гауса.
Відбраковування результатів аналізу. Аналіз як процедура. Етапи

аналізу та джерела помилок. Обґрунтування вибору методу контролю проби.
Гравіметричне визначення сульфат-іонів.
Визначення мутності розчину.
Методи контролю вмісту радіонуклідів у зразках продовольчої сировини.
Основні методи очищення та концентрування речовин.
Фільтрування та очищення газів.
Сублімація та вакуумна сублімація. Методи осушення та кондиціонування речовин. Висушування газів, твердих речових та рідин.
Реалізація потенціометричних методів контролю.
Контроль нітрозамінів методом тонкошарової хроматографії.
Використання спектрів поглинання з метою якісного та кількісного аналізу.
Основні характеристики світлопоглинання. Закон Бугера-Ламберта-Бера.
Реалізація методів мас-спектрометрії.
Методи емісійної фотометрії.
Методи та засоби контролю мікотоксинів у харчовій продукції.
Способи зниження концентрації токсичних металів у продовольчій сировині.
Методи прямої кондуктометрії.
Методи контролю нафтопродуктів у пробах води.
Об'єкти та суб'єкти стандартизації.
Характеристика системи класифікації та кодування інформації.
Принципи формування системи якості продовольчої сировини.
Потенціометричне титрування за методом осадження.
Реалізація методів фотоелектроколориметричного контролю.
Поверхневе та структурне забруднення продовольчої сировини радіонуклідами.

5. Тести з дисципліни

«Екологічні прилади та системи контролю характеристик досліджуваних об'єктів»

1. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Стандартизація – діяльність, що полягає у встановленні для загального і багаторазового користування стосовно розв’язання існуючих чи можливих проблем і спрямована на досягнення оптимального ступеня впорядкованості за даних умов.

2. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Національна стандартизація – стандартизація, що проводиться на рівні однієї певної

3. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Об’єкт стандартизації – об’єкт, що має бути

4. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Галузь стандартизації – сукупність об’єктів стандартизації.

5. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Сфера стандартизації – сфера діяльності, що охоплює об’єкти стандартизації.

6. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Нормативний документ – документ, що встановлює правила, загальні принципи чи характеристики щодо різних видів або їх результатів.

7. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Вид нормативного документа – певний розподілу документів відповідно до специфіки об’єктів і аспектів стандартизації.

8. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Стандарт – створений на основі консенсусу та ухвалений визначеним органом нормативний документ, що встановлює, для загального і багаторазового користування, правила, настановні вказівки або характеристики різного виду діяльності чи її результатів і який є спрямованим на досягнення оптимального ступеня у певній сфері та доступним широкому колу користувачів.

9. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Стандарт організації – стандарт, прийнятий суб'єктом стандартизації іншого рівня, ніж національний орган стандартизації, на основівиробничих, наукових, комерційних та інших спільних інтересів.

10. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Комплекс (система) стандартів – сукупність взаємопов'язаних стандартів, що належать до певної стандартизації і встановлюють взаємоузгодженні вимоги до об'єктів стандартизації на підставі загальної мети.

11. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Національний стандарт – стандарт, прийнятий органом з стандартизації.

12. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Основоположний стандарт – стандарт, що має широку сферу поширення або такий, що містить загальні положення для галузі.

13. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Термінологічний стандарт – стандарт, що поширюється на та їхні визначення.

14. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Стандарт на продукцію – стандарт, що встановлює вимоги, які повинен задовольняти виріб (група виробів), щоб забезпечити свою призначенню.

15. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Стандарт на процес – стандарт, що встановлює вимоги, які повинен задовольняти процес, щоб забезпечити свою призначенню.

16. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Стандарт на послугу – стандарт, що встановлює вимоги, яким

повинна задовольняти послуга, щоб забезпечити свою призначенню.

17. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Стандарт на сумісність – стандарт, що встановлює вимоги стосовно сумісності виробів чи систем у їх поєднання.

18. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Стандарт загальних технічних вимог – стандарт, що містить перелік, для яких значення чи інші дані встановлюються для виробу, процесу чи послуги в кожному випадку окремо.

19. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Настанова (звід правил, правила) – нормативний документ, що рекомендує практичні чи методи проектування, виготовлення, монтажу, експлуатації або утилізації обладнання, конструкцій чи виробів.

20. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Регламент – прийнятий органом влади нормативний документ, що передбачає правових положень.

21. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Технічний регламент – регламент, що містить технічні або безпосередньо, або через посилання на стандарт, технічні умови, настанову чи їхній зміст.

22. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Технічні умови – нормативний документ, що встановлює технічні, яким повинні відповідати виріб, процес чи послуга.

23. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Класифікатор – документ, в якому відповідно до прийнятих ознак класифікації та методів кодування об'єктів класифікації розподілено на і цим надано коди.

24. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Каталог – звіт, перелік будь яких об'єктів, який дає змогу визначити кожен об'єкт і певну ознаку відповідно до прийнятих правил його укладення.

25. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Пробний стандарт – стандарт, прийнятий органом стандартизації і доведений до широкого кола користувачів з метою накопичення потрібного досвіду у процесі його застосування і який може бути використаний як база стандарту.

26. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Міжнародні стандарти ISO серії 9000 визначають розроблення, впровадження та функціонування систем

27. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Міжнародні стандарти ISO серії 10000 містять настанови щодо перевірки системи якості, кваліфікаційні вимоги до експертів-аудиторів з перевірки системи якості, керування програмою перевірки

28. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Міжнародні стандарти ISO серії 14000 розглядають системи і настанови щодо захищеності середовища, системи управління навколишнім середовищем, технічні вимоги і настанови щодо його використання, а також загальні настанови щодо принципів, систем та заходів підтримки.

29. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Європейські стандарти серії EN 29000 і EN 45000 регламентують систем якості, оцінювання відповідності, сертифікації систем якості та акредитації органів з сертифікації.

30. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Якість – це сукупність характеристик об'єкту, які стосуються його

здатності задовольняти установлені і передбачені

31. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Система якості – це організаційної структури, методик, процесів і ресурсів, необхідних для здійснення управління якістю.

32. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Якість продукції – це рівень відповідності сукупності технічних, експлуатаційних, економічних, естетичних та інших параметрів рівню потреб суспільства, тобто рівень її (продукції) корисних для суспільства властивостей.

33. Доповніть твердження одним словом у відповідному відмінку:

Екологічність продукції – це властивість рівня конкретної продукції, яка полягає у спроможності бути використаною за функціональним призначенням, не завдавши неприпустимо негативного впливу на навколишнього середовища.

34. Метрологія – це наука:

- A. вивчення вимірювань скалярних величин;
- B. вивчення вимірювань векторних величин;
- C. вимірювання усіх фізичних величин;
- D. вимірювання випадкових подій.

35. Випадкові похибки – це помилки:

- A. через хибні дії оператора;
- B. в наслідок наявності не якісного вимірювального приладу;
- C. через вимірювання параметрів живлення;
- D. викликані багатою чисельністю зовнішніх факторів.

36. Систематична похибка приладу при технічних вимірюваннях виникає внаслідок:

- A. безліч неврахованих факторів;
- B. через зникнення параметрів живлення;
- C. через змінення температури навколишнього середовища;

D. при наявності зовнішнього температурного впливу.

37. Підсумок декількох випадкових похибок утворюється у вигляді:

- A. арифметичного складання;
- B. знаходження середнього значення;
- C. знаходження середньоквадратичного значення;
- D. шляхом векторного складання.

38. Клас точності вимірювального приладу:

- A. величина випадкової похибки у відсотках у відношенні до абсолютного нульового рівня;
- B. величина абсолютної похибки вимірювань;
- C. величина систематичної похибки вимірювань;
- D. величина випадкової похибки вимірювань у відсотках стосовно максимального значення шкали вимірювального приладу.

39. Маємо два вимірювальних прилади класу точності 0,5 та 1,0 з них перший:

- A. має більшу помилку ніж другий;
- B. має меншу помилку ніж другий;
- C. прилади відрізняються діапазоном вимірювальних величин;
- D. прилади мають різну вартість.

40. Забезпечення єдності вимірювань, це:

- A. проведення вимірювань декількома однаковими за класом приладами;
- B. проведення вимірювань при однакових умовах;
- C. проведення різних вимірювань одним й тим же приладом;
- D. проведення вимірювань приладами, які були вивірені зі зразковим приладом.

41. Державний еталон є:

- A. приладом відтворюючим фізичну величину з високою точністю;
- B. приладом відтворюючим фізичну величину з найвищою точністю;

- C. приладом для державної повірки робочих пристроїв;
- D. приладом, відтворюючим декілька фізичних величин.

42. Прямі вимірювання це:

- A. вимірювання будь-яким точним приладом;
- B. вимірювання шляхом зрівняння зі зразковим приладом;
- C. визначені дані залежать тільки від однієї фізичної величини;
- D. вимірювання завдяки перетворюванню однієї фізичної величини в іншу.

43. Непрямі вимірювання це:

- A. вимірювання будь-яким точним приладом;
- B. вимірювання шляхом порівняння з взірцевим приладом;
- C. коли показники залежать тільки від однієї фізичної величини;
- D. вимірювання за допомогою яких, здійснюється перетворення однієї фізичної величини в іншу.

44. Сумісні вимірювання це:

- A. вимірювання декількома приладами;
- B. вимірювання декількох величин одним й тим же приладом;
- C. здійснення ряду вимірювань однієї і тієї ж фізичної величини;
- D. наявність прямих та непрямих вимірювань, які здійснюються одним й тим же приладом.

45. Найбільша точність забезпечується:

- A. прямими вимірами;
- B. сумісними вимірами;
- C. непрямими вимірами;
- D. сукупними вимірами.

46. Диференційні вимірювання – здійснюються методом:

- A. безпосереднього оцінювання величини;
- B. шляхом зрівняння з взірцевою мірою;
- C. вимірювань з попереднім визначенням похідної;
- D. вимірювань різниці показників між вимірювальною величиною та зразковою.

47. Введення нормованих величин надає змогу:

- A. зменшити діапазон можливих вимірювань;
- B. збільшити діапазон можливих вимірювань;
- C. здійснювати вимірювання величин у широкому діапазоні;
- D. усунути вплив методичної складової вірогідності контролю.

48. Призначення робочого еталону потрібно для:

- A. вивіряння робочих приладів;
- B. вивіряння зразкових приладів;
- C. повірки державного еталону;
- D. застосування еталону на робочих місцях.

49. Абсолютна похибка вимірювань це:

- A. відхилення вимірювальної величини від дійсної в одиницях фізичних величин;
- B. відхилення вимірювальної величини від дійсної у відсотках;
- C. відхилення вимірювальної величини від абсолютного нульового рівня;
- D. відхилення вимірювальної величини від мінімального рівня.

50. Відносна похибка вимірювань це:

- A. відхилення вимірювальної величини від дійсної в одиницях фізичних величин;
- B. відхилення вимірювальної величини від дійсної у відсотках;
- C. відхилення вимірювальної величини від абсолютного нульового рівня;
- D. відхилення вимірювальної величини від мінімального рівня.

51. Грубі похибки (промахи) :

- A. відрізняються від класу точності приладу більш ніж у 3 рази;
- B. відрізняються від класу точності приладу у 3 рази в позитивному напрямку;
- C. відрізняються від класу точності у менший бік;
- D. виходять за межі класу точності на 10–20 %.

52. При обробці ряду вимірювань промахи:

- A. вилучаються зі спостережень;
- B. враховуються як систематична похибка;
- C. враховуються шляхом середньоквадратичного підсумовування;
- D. враховуються у кінцевому результаті.

53. При непрямих вимірюваннях фізичних величин похибка визначається:

- A. як середньоквадратичне значення всіх параметрів, які здійснюють вплив;
- B. простим арифметичним підсумовуванням;
- C. як середньоквадратичне значення з поправкою на коефіцієнт Стьюдента;
- D. як середньоквадратичне значення з поправкою у вигляді частинних похідних.

54. При наявності систематичної похибки робочих приладів необхідно:

- A. виключити її шляхом перевірки приладів, тому що систематична похибка неприпустима;
- B. провести оцінювання систематичної похибки та врахувати її при роботі;
- C. не звертати увагу;
- D. усунути наприкінці роботи шляхом введення поправочних коефіцієнтів.

55. Вимірювальний прилад, який використовується для вимірювань механічних величин від вимірювальної установки відрізняється:

- A. прилад не має вхідних перетворювачів;
- B. вартістю;
- C. має вхідні перетворювачі та електронні блоки;
- D. прилад є точнішим у порівнянні з вимірювальною установкою.

56. Схема виміру одиниць фізичних величин створюється для:

- A. забезпечення єдності вимірювань;
- B. забезпечення вірогідності вимірювань;
- C. забезпечення єдності та вірогідності вимірювань;
- D. виміру робочих приладів.

57. Повірка робочого приладу здійснюється для:

- A. порівняння його зі зразковим;
- B. порівняння його з еталоном;
- C. визначення його працездатності;
- D. оцінювання його зовнішнього стану.

58. Зразковий прилад :

- A. прилад найвищої точності;
- B. прилад, що представляє собою робочий еталон;
- C. у 10 разів краще ніж робочий;
- D. у 100 разів краще ніж робочий.

59. Багаторазові вимірювання зменшують:

- A. систематичну похибку вимірювань;
- B. випадкову;
- C. межу вимірювань;
- D. помилку оператора.

60. Здійснюючи вивірення показників робочого приладу зі зразковим, треба вилучити:

- A. систематичну похибку вимірювань;
- B. випадкову похибку вимірювань;
- C. межу вимірювань;
- D. помилку оператора.

Список літератури

1. Стадник Б. І. Метрологія та вимірювання : навч. посіб / Б. І Стадник. – Львів : Львівська політехніка, 2012. 312 с.
2. Сидоренко Ю. В. Параметрична інтерполяційна функція Гауса. *Комп'ютерне моделювання в хімії і технологіях та системах сталого розвитку*: зб. матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції. / Ю. В. Сидоренко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. С. 67–73.
3. Себко В. В. Метод неруйнівного контролю зразка водного розчину адипінової кислоти. / В. В. Себко, В. Г. Здоренко // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. Сер. Технічні науки. 2016. Вип. 1 (94). С. 121–127.
4. Дунаев Б. Б. Точность измерений при контроле качества: монографія / Б. Б. Дунаев. – Київ : Техніка, 1981. 150 с.
5. Примиский В. Ф. Еколого-технологічна комп'ютеризована газоаналітична система контролю промислових об'єктів / В. Ф. Примиский. – Київ : 2003. № 3. С. 84–91.
6. Автоматизація вимірювального контролю температури проби харчового барвника / В. В. Себко та ін. // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. Сер. Технічні науки. 2015. Вип. 4 (88). С. 49–57.
7. Визнюк А. А. Компьютерные технологии в многоканальных инфракрасных газоанализаторах эколого-технологического мониторинга / А. А. Визнюк, В. Ф. Примиский. – Київ : Інститут газу Національної академії наук України. Сер. Екотехнології та ресурсозбереження. 2000. №2. С. 77–81.
8. Петрук В. Г. Методика спектро-аналітичного вимірювального контролю оптичних параметрів дисперсних середовищ за методом глибинного режиму / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, Е. С. Смолінський // *Вісник Вінницького національного технічного університету*. 2002. № 6. С. 102–108.
9. Білінський Й. Й. Роль поверхневих явищ в різних процесах та оптичні засоби визначення поверхневого натягу / Й. Й. Білінський, О. С. Городецька. – Сєверодонецьк : Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2005. № 2 (10). С. 198–203.

10. Дрозд А. В. Перевірка якості спектрофотометричних вимірювань / А. В. Дрозд, Н. О. Леонова, О. С. Каліненко. – Харків : Метрологія та прилади. 2010. № 5 (25). С. 62–66.

11. Довгалець С. М. Оптичний вимірювальний перетворювач рівня рідини / С. М. Довгалець, І. П. Борщова, В. Ю. Кучерук. // зб. наукових праць Вінницького національного технічного університету 2009. Вип. 3. С. 1–6.

12. Аналітичні екологічні прилади та системи : монографія. / В. А. Порев та ін. ; за ред. В. А. Порєва. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. 336 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичної та самостійної роботи аспірантів
з ДИСЦИПЛІНИ
«ЕКОЛОГІЧНІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ
ХАРАКТЕРИСТИК
ДОСЛІДЖУВАНИХ ОБ'ЄКТІВ»
для аспірантів спеціальності 101 «ЕКОЛОГІЯ»

Укладачі:

ПИРОЖЕНКО Євгенія Володимирівна

СЕБКО Вадим Вадимович

БАРАНОВА Антоніна Олегівна

ГЕТТА Оксана Сергіївна

Відповідальний за випуск проф. Шапорев В.П.

Роботу рекомендувала до видання проф. Зінченко М. Г.

План 2021 р., п. 16

Підп. до друку 15.03.2021 р. Формат 60×84 1/16. Папір офісний. RISO-
друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. . Наклад 50 прим.

Зам. № ____ . Ціна договірна

Віддруковано в ТОВ «Друкарня МАДРИД»

61024, м. Харків, вул. Гуданова, 18

Тел.: (057)756-53-25

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи,

Серія ДК, №4399 від 27.08.2012 р.
