

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання контрольної роботи

з дисципліни «Методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря,
грунту, води та продовольчої сировини»

для здобувачів третього рівня вищої освіти

усіх форм навчання

спеціальності Е2 «Екологія»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол №1 від 19 лютого 2026 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2026

Методичні вказівки для виконання контрольної роботи з дисципліни «Методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря, ґрунту, води та продовольчої сировини» для здобувачів третього рівня вищої освіти усіх форм навчання спеціальності Е2 «Екологія» / уклад. В. В. Себко, А.С. Босюк – Харків: НТУ «ХП», 2026. – 33 с.

Укладачі: В.В. Себко,
А.С. Босюк

Рецензент І.Л. Красніков

Кафедра хімічної техніки та промислової екології

ВСТУП

Метою контрольної роботи є вивчення методики розрахунків електричних та температурних параметрів зразків харчових барвників, допустимі рівні яких надано у державних нормативних документах, які використовуються при виготовленні твердих, сипких та рідинних харчових продуктів, а також визначення очікуваних значень сигналів трансформаторного вихорострумowego перетворювача (ТВП), на основі якого здійснюється реалізація цієї методики. Визначення електричних та температурних параметрів барвників здійснюється шляхом реалізації безконтактного двохпараметрового вихорострумowego методу контролю, який розроблено на базі (ТВП).

Дана робота має двадцять варіантів завдань і розрахована на одну групу аспірантів. Ці варіанти допоможуть аспірантам, користуючись заданими характеристиками зразка харчового барвника та відомими геометричними параметрами ТВП заданої конфігурації, розв'язати пряму задачу – визначити ЕРС ТВП з досліджуваним зразком барвника та фазові кути зсуву, а також побудувати градувальні залежності ТВП зі зразком харчового барвника, що контролюється.

Найважливішим значенням результатів вирішення прямої задачі, є знайдені діапазони змінення ЕРС ТВП та фазових кутів зсуву, які відповідають межах змінення температури t і межах змінення питомого електричного опору ρ_t зразка харчового барвника, що, у свою чергу, надає змогу для підбору вимірювальної апаратури в схемі включення ТВП, а також дозволяє знайти раціональні з точки зору досягнення малих похибок вимірювань, режими роботи теплових ТВП (тобто ТВП, які включають до себе додаткову обмотку, що здійснює нагрівання зразка харчового барвника). На основі отриманих очікуваних значень сигналів теплових ТВП, у роботі наведена також методика розрахунків електричних та температурних параметрів зразка найважливішого промислового харчового барвника – бетаніна.

Харчові барвники застосовують задля збереження, поліпшення чи надання певного забарвлення харчовим продуктам. Джерелом для отримання червоних барвників слугує рослинна сировина, що містить антоціани (Е 163) [1, 2]. У харчовій промисловості для виробництва безалкогольних напоїв, ковбасних виробів, морозива, а також при виробництві десертів, желе, джемів та інших харчових продуктів – застосовують харчовий барвник бетанін або «буряковий червоний» (Е 162) [1–3]. *Бетанін* – алкалоїдоподібне з'єднання, що отримується з буряків, частіше з екстракту їх соку. Колір барвника Е 162 може змінюватися в залежності від кислотності середовища – від яскравого червоного до синьо-фіолетового (при підвищенні рН). Харчовий барвник Е 162 використовується у вигляді порошку, але за рахунок своїх властивостей, при з'єднанні з водою, відразу ж відновлюється до натурального бурякового соку. Молекулярна формула Е 162: $C_{24}H_{27}N_2O_{13}$. Бетанін сприяє розщепленню і засвоєнню тваринних і рослинних білків, бере участь в утворенні холіну, який покращує роботу клітин печінки, підвищує міцність капілярів, знімає судинні спазми, знижує артеріальний тиск і в цілому позитивно впливає на кров, знижуючи ризик інфарктів, має високу антирадіаційну та антиканцерогенну дію, перешкоджає розвитку онкологічних захворювань і утворення злоякісних пухлин. У людському організмі бетанін поглинається з кишечника і діє як антиоксидант, захищаючи клітини організму [1–3].

Таким чином, на сьогодні для запобігання отруєнням, а також виникнення хронічних захворювань організму людини, важливе значення має контроль фізико-хімічних параметрів харчових барвників. При цьому застосування сучасних багатопараметрових безконтактних вихорострумових методів та пристроїв неруйнівного контролю (НК), дозволяє суттєво підвищити вірогідність контролю фізико-хімічних параметрів зразків харчових барвників [5, 6].

Проведення інженерних розрахунків та технічних вимірювань у цьому напрямку досліджень, надає змогу щодо проєктування та конструювання автоматизованих вимірювальних установок на основі використання

вихорострумів перетворювачів контролю фізико-хімічних характеристик харчових барвників. Визначення температурних та електричних параметрів харчових барвників, а також інших фізико-хімічних параметрів, створює передумови щодо управління якістю в заданих межах переробки, покращує застосування і зберігання твердих, рідинних та сипких харчових продуктів і продовольчої сировини, а також створює передумови щодо управління якістю характеристиками зразків харчової продукції під час її переробки та виготовлення з урахуванням встановлених вимог щодо якості харчової та переробної продукції, які наведено в міжнародних нормативних документах серії ISO.

Таким чином, знання про сучасні багатопараметрові безконтактні вихорострумові методи та пристрої неруйнівного контролю (НК) електричних і температурних характеристик сипких та рідинних харчових барвників, повинні бути використані під час виготовлення, переробки та зберігання харчових продуктів, створення нових методів управління якістю продукцією харчових та переробних виробництв, а також під час лекційних та практичних занять з дисципліни «Методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря, ґрунту, води та продовольчої сировини».

1. ВИХІДНІ ДАНІ

Дані до розрахунків вибирають за номером завдання, відповідно до порядкового номеру прізвища аспіранта у робочому журналі. У таблиці 1 (у відповідних стовпцях) вказано наступні дані (зліва – направо): номер завдання; f – частота магнітного поля теплового ТВП; $l_{\text{п}}$ – довжина (первинної) намагнічувальної обмотки ТВП (при цьому $l_{\text{п}} = l$, де l – довжина зразка, що контролюється); W_1 – число витків намагнічувальної обмотки; W_2 – число витків вторинної (вимірювальної) обмотки; a – радіус зразка харчового барвника, що контролюється; $a_{\text{п}}$ – радіус ТВП. Також відома початкова температура $t_1 = 20$ °С; H_0 – напруженість магнітного поля ТВП $H_0 = 50$ А/ м; ЕРС ТВП у круговому перерізі повітря, який обмежено радіусом зразка $E_{20} = 0,95$ В; ЕРС ТВП, яка обумовлена проходженням магнітного потоку у зразку барвника, що контролюється $E_2 = 0,954$ В; ЕРС ТВП, яка обумовлена проходженням магнітного потоку у ТВП без виробу $E_0 = 1,135$ В; температурний коефіцієнт опору (ТКО) зразка харчового барвника $\alpha = 1,996 \cdot 10^{-4}$ 1/ °С; узагальнений магнітний параметр (при початковій температурі $t = t_1 = 20$ °С) $x_l = 0,1026$; питомий електричний опір (при $t = t_1 = 20$ °С) $\rho_l = 4,5 \cdot 10^{-3}$ Ом м; намагнічувальний струм $I = 0,17$ А; досліджуваний діапазон температур $t = [20 \dots 90$ °С].

Таблиця 1 – Вхідні дані: $t_1 = 20$ °С; $H_0 = 50$ А/ м; $E_{20} = 0,95$ В; $E_2 = 0,954$ В; $E_0 = 1,135$ В; $\alpha = 1,996 \cdot 10^{-4}$ 1/ °С; $x_l = 0,1026$; $\rho_l = 4,5 \cdot 10^{-3}$ Ом м.

№ прізвища аспіранта в журналі	f , КГц	$l_{\text{п}}$, м	W_1	W_2	a , мм	$a_{\text{п}}$, мм
1	60	0,4	80	150	10	12
2	75	0,55	400	1000	12	14
3	90	0,45	150	1010	15	16
4	30	0,6	100	900	8	10
5	45	0,5	80	220	10	13
6	50	0,75	80	150	11	12,5
7	70	0,47	110	1060	14	15
8	25	0,3	150	1400	9	10
9	60	0,75	90	965	7	9

Кінець табл. 1

10	55	0,5	75	975	12	13
11	30	0,65	80	130	15	16
12	15	0,7	300	1215	9	10
13	70	0,5	50	190	12	13,5
14	10	0,45	80	600	7	8
15	50	0,6	170	1000	13	14
16	30	0,4	90	800	10	11,5
17	65	0,5	110	1100	14	15
18	40	0,42	100	1000	11	12
19	35	0,8	200	1200	14	15
20	85	0,5	150	950	12	13

2. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИВЧЕННІ КУРСУ «МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ЗРАЗКАХ ПОВІТРЯ, ҐРУНТУ, ВОДИ ТА ПРОДОВОЛЬЧОЇ СИРОВИНИ»

Слід відзначити, що на сьогодні особлива увага приділяється термінології, яка використовується при дослідженні кількісних характеристик якості об'єкта контролю (ОК). Цей аспект є достатньо важливим у сенсі порозуміння вчених, викладачів та аспірантів технічних спеціальностей різних регіонів України. Нижче будуть наведені основні терміни і визначення, які використовуються задля оцінювання безпеки, якості та контролю харчової продукції [1–6]. Європейський Союз визначив безпеку харчових продуктів одним з головних пріоритетів своєї політики. Це основна мета, яку слід враховувати в різних сферах діяльності світової спільноти, а саме в галузі управління якістю при виготовленні харчової та переробної продукції, захисту споживачів та внутрішнього ринку, природного довкілля і охорони здоров'я громадян України.

Таким чином, з точки зору термінології, *безпечний харчовий продукт* – харчовий продукт, який не створює шкідливого впливу на здоров'я людини безпосередньо чи опосередковано за умов його виробництва та обігу з дотриманням вимог санітарних заходів та споживання (використання) за призначенням.

Безпечність харчового продукту – стан харчового продукту, що є результатом діяльності з виробництва та обігу, яка здійснюється з дотриманням вимог, встановлених санітарними заходами і нормативними документами та забезпечує впевненість у тому, що харчовий продукт не завдає шкоди здоров'ю споживача, якщо він спожитий за призначенням [1–4].

Система аналізу небезпек і критичних точок контролю (англ. HACCP Hazard Analysis Critical Control Point, HACCP]) – є науково-обґрунтованою системою, що дозволяє створити на підприємстві умови для виробництва

безпечної продукції шляхом визначення (ідентифікації) і контролю небезпечних чинників [1–5].

Харчові барвники – група природних або синтетичних барвників, придатних для змінення кольору, збереження і поліпшення харчових продуктів. Харчові барвники відіграють важливу роль у формуванні споживчих і якісних властивостей харчових продуктів [1–5]. Відповідно до міжнародного стандарту ISO 8402 «якість» – це сукупність властивостей та характеристик продукції, що дає їй можливість задовольняти зумовлені або передбачувані потреби.

Якість харчового продукту – це сукупність властивостей харчового продукту, яка визначає його здатність забезпечувати потреби організму людини в енергії, живильних речовинах, а також безпеку для її здоров'я, має здатність володіти стабільністю складу та поживними властивостями протягом термінів придатності до вживання харчового продукту.

Слід визначити, що певні особливості харчової та переробної продукції характеризуються властивостями (параметрами) якості, в свою чергу, конкретні значення цих параметрів називають *показниками якості*. Параметри якості харчової продукції та продовольчої сировини можуть мати кількісні, наприклад, температура, питомий електричний опір, діелектрична проникність, тиск, розмір, густина або якісні біологічна цінність, енергетична цінність харчового продукту, колір, інтенсивність смаку та інші характеристики. Виділяють чотири напрями діяльності в галузі якості, за допомогою яких формується якість продукції: планування якості, управління якістю, забезпечення якості, поліпшення якості [1–5].

Планування якості включає діяльність щодо встановлення мети та нормування вимог щодо якості продукції і технологічних процесів, а також ідентифікацію оцінювання якості продукції, що у свою чергу, надає змогу підготовки програми якості продукції переробних та харчових виробництв [1–5].

Управління якістю – сукупність дій, операцій та процедур, які мають бути виконані під час створення та застосування переробної і харчової продукції та

мають за мету встановлення, забезпечення і утримування необхідного рівня якості відповідної продукції. При цьому, також мається на увазі, встановлення оптимального рівня продукції під час її розробки, виготовлення, зберігання, експлуатації й вживання, за рахунок здійснення системного контролю якості та впливу на відповідні умови та фактори, а також на кількісні і якісні характеристики продукції переробних і харчових виробництв [1–5].

Забезпечення якості – включає до себе всі види діяльності, які є необхідними задля створення достатньої впевненості у тому, що продукція або сировина задовольняє вимогам якості, які регламентуються державними стандартами та технічними умовами [1–5].

Поліпшення якості – передбачає комплекс вправ та заходів контролю параметрів відповідної продукції, що здійснюються для забезпечення ефективності та результативності цілої низки операцій та процедур спрямованих на забезпечення встановленого нормативними документами рівня якості харчової продукції [1–5]. *Якість технологій виготовлення харчової продукції* – включає до себе процедури і операції спрямовані на створення спеціальної рецептури, яка має конкретні сировинні інгредієнти, послідовність технологічних операцій, правила, процедури та умови їх виконання у відповідності з міжнародними та національними нормативними документами [1–5]. Саме тому, на теперішній час виникає проблема реалізації еталонних та безеталонних методів, способів та прийомів контролю параметрів зразків харчової та переробної продукції.

Рівень якості харчової та переробної продукції – категорія чи розряд, які надані різноманітним вимогам щодо якості зразків харчової та переробної продукції або багатокомпонентних систем продукції, які мають те саме функціональне призначення [1–5]. *Якість виготовлення харчової продукції* – це згідно з нормативними документами, затверджена сукупність властивостей і характеристик процесу виготовлення харчової продукції. *Характеристика якості* – характерна особливість зразка, процесу або системи, яка пов'язана зі встановленими вимогами до харчової і переробної продукції [1–5]. *Запобіжна*

дія – дія, яку виконують, щоб усунути причину виявленої невідповідності певної характеристики харчової продукції (або іншої потенційно небажаної ситуації). *Коригування* – дія, яку виконують, щоб усунути виявлену невідповідність зразка харчової продукції, що контролюється (коригуванням може бути, наприклад, перероблення харчової продукції) [1–5]. *Показник якості харчової і переробної продукції* – це кількісна характеристика однієї чи декількох властивостей зразків продукції, що характеризує її якість у певних умовах створення, використання чи споживання відповідної продукції. Таким чином, рівень розвитку промисловості на сучасному етапі характеризується не тільки об'ємом харчових і переробних виробництв та асортиментом нової продукції, а й показниками її якості [1–5].

Слід визначити, що у рішенні найважливішої проблеми – підвищення якості продукції, головну роль відіграють методи і засоби неруйнівного контролю [6–12]. *Неруйнівний контроль (НК)* – це контроль, при здійсненні якого не повинна бути порушена придатність об'єкта контролю (ОК) до використання стосовно свого призначення. НК застосовують також і для захисту споживача від неякісної продукції, в основному як експериментальні методи оцінювання якості зразків, що контролюються. *Обсяг контролю* – це кількість об'єктів і сукупність ознак, встановлених для проведення контролю [6].

Таким чином, високоякісний зразок харчового продукту, у загальному випадку, повинен відрізнятися: постійністю хімічного складу та структури, електричних і температурних характеристик, а також геометричними розмірами, підвищеними фізико-хімічними властивостями притаманними зразкам харчової та переробної продукції. Тому найважливіше значення на сьогодні, набувають неруйнівні випробування зразків харчової та переробної продукції.

Неруйнівні випробування – це випробування з використанням фізичних методів контролю, які не порушують властивостей об'єкта та його придатності до використання за призначенням [6].

Неруйнівні випробування передбачають реєстрацію сигналу, що контролюється, тобто сигналу, що надходить на вхід засобу НК і несе інформацію про стан досліджуваних зразків продукції. У загальному сенсі *метод контролю – це правила застосування певних принципів і засобів контролю* [5, 6]. *Засоби контролю харчової продукції – це технічні пристрої, речовини та матеріали для здійснення контролю досліджуваних зразків* [1–6].

Вихорострумний (електромагнітний) неруйнівний контроль – вид НК, який засновано на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, наведених в ОК цим полем [6–11]. *Амплітудним методом вихорострумного контролю є метод електромагнітного НК, заснований на вимірюванні амплітуди сигналу електромагнітного перетворювача. Фазовий метод електромагнітного контролю – це метод електромагнітного НК, заснований на вимірюванні фази сигналу електромагнітного перетворювача* [6–11]. *Параметр виробу – це характеристика виробу за фізичною ознакою. Температура «t» – це фізична величина, що визначається як параметр стану термодинамічної рівноваги фізичних систем* [12]. У нашому випадку це екстенсивна величина, яка визначається за допомогою непрямих вимірювань, внаслідок перетворення її в інтенсивну (безпосередньо виміряну) величину, наприклад, в ЕРС або фазу сигналу.

Похибка вимірювання – відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної фізичної величини.

Абсолютна похибка вимірювання – це похибка вимірювання, виражена в одиницях вимірюваної величини (тобто абсолютна похибка має розмірність) [5, 6].

Відносна похибка вимірювання – це похибка вимірювання, виражена як відношення абсолютної похибки до виміряного значення фізичної величини. Відносні похибки фізичних величин виражені в умовних одиницях або у відсотках [5, 6].

Методична похибка – складова похибки вимірювання, обумовлена недосконалістю методу вимірювання або невідповідністю об'єкта вимірювання його моделі, яка прийнята задля вимірювання.

Систематична похибка – складова загальної похибки вимірювання, яка залишається постійною або закономірно змінюється під час повторних вимірювань однієї і тієї ж фізичної величини.

Випадкова похибка – складова загальної похибки вимірювання, яка змінюється випадковим чином (як за знаком, так і за величиною) під час повторних вимірювань однієї і тієї ж фізичної величини.

Суб'єктивна складова похибки вимірювання – залежить від індивідуальних властивостей експериментатора (суб'єкта), що виконує вимірювання, а точніше, від його психофізіологічних якостей, зокрема, від недосконалості органів чуттів, які беруть участь у визначенні результату вимірювання [5, 6].

Далі з урахуванням результатів наукових робіт [1–12], переходимо до основної частини методичних вказівок.

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТВП ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИХОРОСТРУМОВОГО МЕТОДУ НК ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ І ТЕМПЕРАТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗРАЗКА ХАРЧОВОГО БАРВНИКА

Основою електромагнітних методів контролю характеристик ОК є ефект впливу вихрових струмів, що збуджуються безпосередньо в ОК, на електричні компоненти сигналів первинних вихорострумів перетворювачів [6–11]. Як засіб НК, далі буде використано трансформаторний вихорострумівий перетворювач (ТВП), який містить дві обмотки (намагнічувальну та вимірювальну) і перетворює характеристику, що контролюється, в ЕРС та фазу вимірювальної обмотки [6, 7].

Таким чином, збуджувальна (намагнічувальна, первинна) обмотка потрібна для створення електромагнітного поля, тобто вихрових струмів в ОК,

у цей час вторинна (вимірювальна) обмотка, використовується для реєстрації ЕРС, яку обумовлено проходженням магнітного потоку усередині ОК. Оскільки вимірювальна котушка (обмотка) цього вихорострумowego перетворювача виконує функції вторинної обмотки трансформатора, він має назву трансформаторного. При цьому амплітуда і фаза ЕРС вторинної обмотки ТВП залежать від параметрів ОК [6, 7]. Слід зазначити, що сигнали теплового ТВП в нашому випадку є температурозалежними, оскільки далі буде досліджено вимірювальний контроль, який передбачає нагрів зразка харчового барвника в процесі контролю (з метою імітації процесу нагріву в умовах виготовлення, зберігання та подальшого виробничого використання). Для підвищення точності вимірювань електричних та температурних параметрів зразків харчових барвників доцільним є вимірювання різницевої ЕРС $E_{внт}$, яку знаходять як різницю між опорною ЕРС E_0 та результуючою ЕРС $E_{\Sigma t}$ (при цьому індекс t свідчить, що досліджуваний параметр є залежним від температури) [7].

Таким чином, тепловий ТВП виконує одночасно наступні функції: створює корисний магнітний потік Φ_{2t} в контрольованому зразку, забезпечує реєстрацію різницевої ЕРС $E_{внт}$, а також забезпечує нагрів зразка в процесі контролю за допомогою гріючого пристрою, розташованого безпосередньо у ТВП.

На рис. 1 подано схему теплового ТВП за допомогою якої здійснюється безконтактний вимірювальний контроль електричного параметра ρ і температури t зразка харчового барвника, під час реалізації вихорострумowego методу НК. Слід відзначити, що для нагрівання ОК в процесі контролю, схема містить гріючий пристрій ГП. Схема ТВП передбачає три ідентичних вихорострумowych перетворювача РП (робочій перетворювач), КП (компенсаційний перетворювач) і ОП (опорний перетворювач). Намагнічувальні обмотки РП, КП і ОП увімкнуті послідовно–узгоджено, а вимірювальні обмотки РП і КП – послідовно-назустріч. Контрольним методом

вимірювання температури є термометри опору платинові ТО, які закріплено безпосередньо до зразка.

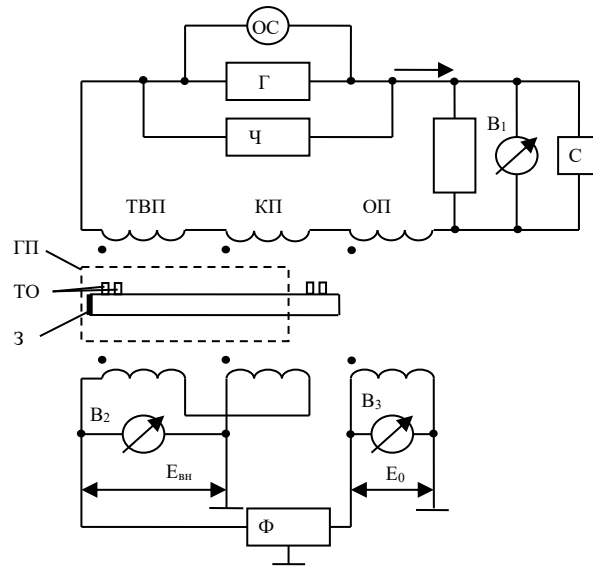


Рисунок 1 – Схема ТВП для безконтактного вимірювального контролю питомого електричного опору ρ_t і температури t зразка харчового барвника, при реалізації вихорострумowego методу

Схема також містить осцилограф ОС, генератор Г, частотомір Ч, вольтметри V_1 , V_2 і V_3 , зразковий опір R , цифровий самопис С (реєструючий прилад, в якому передбачена запис змінення фізичних величин у графічній формі, цей прилад застосовують тоді, коли недостатньо знати тільки деяке окреме значення вимірюваної величини, а потрібно простежити її зі зміною за часом або зі зміною залежно від інших фізичних величин), зразок З, що контролюється, фазометр Ф. Зразок З представляє собою скляну трубку у якій розташовано досліджуваній порошок або розчин харчового барвника. Вольтметр V_1 призначено для визначення намагнічувального струму I (відповідно до закону Ома). Під час роботи схеми змінюють частоту намагнічувального струму I за допомогою генератора Г, доки вольтметр V_2 не покаже різницеву ЕРС $E_{внt}$, потім за допомогою вольтметра V_3 реєструють опорну ЕРС E_0 ТВП (без виробу). Фазовий кут зсуву φ_0 (між ЕРС E_0 та $E_{внt}$), визначаємо за допомогою фазометра Ф. Таким чином, досліджується

математична модель системи ТВП – З (параметри якої – ЕРС та фазовий кут зсуву, питомий електричний опір ρ_t і температура t З, а також геометричні параметри ТВП і З, які у даному випадку є заданими) [6–11]. Таким чином, проектування вихорострумівих перетворювачів та добір вимірювальної апаратури необхідної точності та чутливості, спонукає до розв’язку прямої задачі [6, 7]. Пряма задача полягає у наступному: при відомих геометричних параметрах перетворювача та зразка, використовуючи залежність ρ від t , для досліджуваного температурного діапазону, знаючі температурний коефіцієнт опору (ТКО) α , визначаємо електричні параметри ТВП: ЕРС E_0 , E_1 , $E_{\text{внт}}$ та фазові кути зсуву $\varphi_{\text{внт}}$ і φ_t . При цьому ЕРС $E_{\text{внт}}$, можна визначити за формулою [7, 8]:

$$E_{\text{внт}} = E_{\Sigma t} - E_0, \quad (1)$$

Далі необхідно навести формули для визначення амплітуди та фазового кута зсуву $\varphi_{\text{внт}}$ питомого нормованого параметра N_t , який характеризує собою питому нормовану вносиму ЕРС $E_{\text{внт}}$, тобто [7, 8]:

$$N_t = \frac{E_{\text{внт}} \eta}{E_0} \sqrt{(1 - K_t \cos \varphi_t)^2 + (K_t \sin \varphi_t)^2}, \quad (2)$$

$$\text{tg } \varphi_{\text{внт}} = \frac{K_t \sin \varphi_t}{1 - K_t \cos \varphi_t}, \quad (3)$$

де η – коефіцієнт заповнення ТВП зразком d^2 / d_n^2 ;

d^2 и d_n^2 – діаметри зразка та вимірювальної обмотки ТВП;

K_t – комплексний параметр, який має відношення до магнітного потоку Φ_{2t} .

Формула для визначення комплексного параметра K_t , має наступний вигляд:

$$\dot{K}_t = \frac{2}{x_t \sqrt{j}} \frac{I_1(x_t \sqrt{j})}{I_0(x_t \sqrt{j})}, \quad (4)$$

де x_t – узагальнений магнітний параметр, який визначають за наступною формулою [7, 8]:

$$x_t = \frac{d}{2} \sqrt{2\pi\mu_0 f / \rho}, \quad (5)$$

μ_0 – магнітна стала ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м);

f – частота змінення магнітного поля;

ρ – питомий електричний опір зразка харчового барвника;

I_1 и I_0 – модифіковані функції Беселя першого рода першого та нульового порядків;

j – уявна одиниця, $j = \sqrt{-1}$.

Перевагою цього вихорострумowego метода є те що фазовий кут $\varphi_{\text{вн}t}$ не є залежним від діаметра виробу, натомість $\varphi_{\text{вн}t}$ є залежним від параметра x_t . Все це надає змогу знаючи кут зсуву $\varphi_{\text{вн}t}$ за допомогою залежності $\varphi_{\text{вн}t}$ від x_t (див. додаток А) знайти параметр x_t , у відповідності зі значеннями якого, на основі залежності N_t от x_t (див. додаток А) далі визначають параметр N_t . Після цього з урахуванням результатів вимірів ЕРС $E_{\text{вн}t}$ та E_0 , знаючи заданий діаметр $d_{\text{п}}$ вимірювальної обмотки, визначаємо діаметр d досліджуваного зразка харчового барвника [7, 8]:

$$d = d_{\text{п}} \sqrt{\frac{E_{\text{вн}t}}{E_0 N}} \quad (6)$$

Далі вимірюючи за допомогою схеми на рис.1 частоту магнітного поля $f_l = f$ (f_l – частота змінення магнітного поля ТВП при $t_l = 20^\circ\text{C}$), та визначивши діаметр d і параметр x_t , отримаємо питомий електричний опір ρ_t за формулою [7, 8]:

$$\rho_t = \frac{\pi d^2 \mu_0 f}{2x^2} \quad (7)$$

При цьому значення параметрів d та ρ є не залежними між собою і мають визначатися тільки вимірюваними величинами $E_{\text{вн}t}$, E_0 , f та сталими і константами $d_{\text{п}}$ і μ_0 . Для визначення температури зразка харчового барвника використовують залежність питомого електричного опору ρ_t від температури t [12]:

$$\rho_t = \rho_1 + \frac{\rho_1 \alpha}{1 + \alpha t_1} (t - t_1) \quad (8)$$

де α – температурний коефіцієнт опору зразка харчового барвника;

ρ_l – питомий електричний опір зразка, при початковій температурі $t_l = 20^\circ\text{C}$;

ρ_t – питомий електричний опір зразка при температурах, значення яких приймаються з досліджуваного діапазону температур $t = [20 \dots 90 \text{ }^\circ\text{C}]$

Дорівняв вирази (7) та (8), отримаємо формули для визначення температури зразка харчового барвника. При цьому:

$$t = \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) \left(\frac{\rho_t}{\rho_l} - 1 \right) + t_1 \quad (9)$$

або

$$t = \left(\frac{x_t^2}{x_t^2(\varphi)} - 1 \right) \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) + t_1 \quad (10)$$

Для підвищення точності вимірювань електричних та температурних параметрів, а також створення кращих умов автоматизації процесу контролю, є необхідним навести модифікацію електромагнітного методу, яка дозволяє контролювати геометричні, електричні і температурні параметри зразків, як сумісно так і селективно. При цьому діаметр d або радіус a зразка, знаходять за функцією $N_t = f(\varphi_{\text{внт}})$. З урахуванням того, що параметр N_t :

$$N_t = \frac{E_{\text{внт}}}{E_0 \eta} \quad (11)$$

Радіус зразка знаходять за формулою [7, 8]:

$$a = a_n \sqrt{E_{\text{внт}} / E_0 N_t} \quad (12)$$

При цьому [7]:

$$x_t = a \sqrt{\mu_0 \sigma_t \omega} \quad (13)$$

де σ_t – питома електрична провідність досліджуваного зразка барвника.

Далі необхідно знайти з формули (12) величину a^2 , з урахуванням виразу для циклічної частоти поля ω [7], маємо:

$$a^2 = \frac{x_t^2}{2\pi \mu_0 \sigma_t f} \quad (14)$$

Далі виконавши підставлення формули (13) у формулу (10), з

урахуванням коефіцієнту заповнення перетворювача зразком η , отримаємо:

$$N = \frac{E_{\text{внт}} a_n^2 2\pi\mu_0\sigma_t f}{E_0 x_t^2} \quad (15)$$

Для підвищення точності вимірювань необхідно увести параметр N_{yt} , який характеризує собою питому нормовану ЕРС ТВП, обумовлену проходженням магнітного потоку, який пронизує одиничну площину зразка, що обмежена класичною глибиною проникнення δ магнітного поля у зразок. Класична глибина проникнення магнітного поля у зразок δ – це відстань від поверхні виробу до шару, в якому густина вихрових струмів в « e » раз нижча, ніж на поверхні ($e = 2,7183$ – основа натурального логарифму) [7]. Таким чином параметр N_{yt} , визначають за формулою [7–11]:

$$N_{yt} = N_t x_t^2 \quad (16)$$

При цьому, скориставшись виразами (14) та (15), маємо:

$$N_{yt} = \frac{E_{\text{внт}} a_n^2 2\pi\mu_0\sigma_t f}{E_0} \quad (17)$$

З формули (16) впливає вираз для визначення параметра σ_t , який має наступний вигляд [8]:

$$\sigma_t = \frac{N_t E_0}{2\pi E_{\text{внт}} a_n^2 \mu_0 f} \quad (18)$$

Температуру зразка харчового барвника необхідно визначити за формулою:

$$t = \frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \left(\frac{\pi d_n^2 \mu_0 f E_{\text{внт}}}{2 E_0 N_t \rho_1} - 1 \right) + t_1 \quad (19)$$

Таким чином, геометричні параметри (радіус a або діаметр d) визначають за результатами виміру $E_{\text{внт}}$, E_0 , $\varphi_{\text{внт}}$ задаючись значеннями частоти f (або ω), далі за допомогою залежності $N_{yt} = f(\varphi_{\text{внт}})$, знаходять параметр N_{yt} та визначають параметри σ_t і t зразка харчового барвника за формулами (17) і (18).

Нижче наведено алгоритм розрахунку електричних параметрів ТВП і електричних та температурних параметрів зразка харчового барвника (бетаніна).

1. Задаючись дискретними значеннями температур у діапазоні від 20 до 90 °С, через кожні 10 °С, визначаємо питомий електричний опір ρ_t для кожного дискретного значення температури зразка харчового барвника, за формулою:

$$\rho_t = \rho_1 + \frac{\rho_1 \alpha}{1 + \alpha t_1} (t - t_1) \quad (20)$$

2. Знаючи питомий електричний опір ρ_t , знаходимо термозалежний параметр x_t для кожної досліджуваної температурної точки:

$$x_t = a \sqrt{\mu_0 \sigma_t \omega} \quad (21)$$

Далі визначимо температуру зразка харчового барвника за формулою:

$$t = \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) \left(\frac{\rho_t}{\rho_1} - 1 \right) + t_1 \quad (22)$$

або за іншою формулою, задля перевірки температурних даних:

$$t = \left(\frac{x_t^2}{x_t^2(\varphi)} - 1 \right) \left(\frac{1 + \alpha t_1}{\alpha} \right) + t_1 \quad (23)$$

3. Для визначення параметрів N_t і φ_t необхідно скористатися залежностями $N_t = f(x_t)$ і $\varphi_{\text{вн}t} = f(x_t)$ з таблиці А.1 (додаток А), які було наведено при температурі $t = 20$ °С [7]. Слід визначити, що при попаданні N_t і φ_t між двома близькими значеннями необхідно здійснювати лінійну інтерполяцію за формулами:

$$N_t = \frac{(x_t - x_1)}{(x_2 - x_1)} (N_2 - N_1) + N_1 \quad (24)$$

де x_t – значення узагальненого параметру, що розраховано за формулою (2); x_2 – кінцеве значення з двох близьких значень, між яких знаходиться x_t ; x_1 – попереднє значення з двох близьких значень, між яких знаходиться x_t ; N_1 – значення параметру N_t , яке відповідає x_1 ; N_2 – значення параметру N_t , яке відповідає x_2 .

Для фазового кута зсуву $\varphi_{\text{вн}t}$, маємо:

$$\varphi_{\text{вн}t} = \frac{(x_t - x_1)}{(x_2 - x_1)} (\varphi_2 - \varphi_1) + \varphi_1 \quad (25)$$

де φ_2 – значення параметру $\varphi_{\text{вн}t}$, яке є відповідним x_2 ;

φ_l – значення параметру $\varphi_{\text{внт}}$, яке є відповідним x_1 .

4. Далі необхідно визначити параметр N_{yt} , за формулою:

$$N_{yt} = N_t x_t^2 \quad (26)$$

5. Визначимо ЕРС E_0 , користуючись формулою:

$$E_0 = 4,44 f_1 W_2 \pi a_{\text{п}}^2 \mu_0 H_0 \quad (27)$$

6. Розрахуємо коефіцієнт заповнення ТВП зразком харчового барвника, що контролюється:

$$\eta = \frac{a^2}{a_{\text{п}}^2} \quad (28)$$

7. Визначимо ЕРС $E_{\text{внт}}$, за формулою:

$$E_{\text{внт}} = N_t E_0 \eta \quad (29)$$

8. Далі визначимо ЕРС E_{20} , яка обумовлена проходженням магнітного потоку в повітряному перерізі ТВП, який є обмеженим радіусом скляної трубки «а»:

$$E_{20} = E_0 \eta \quad (30)$$

9. Знаходимо ЕРС E_{2t} обумовлену проходженням магнітного потоку Φ_{2t} у зразку, що контролюється, за формулою:

$$E_{2t} = \sqrt{E_{20}^2 + E_{\text{внт}}^2 - 2E_{20}E_{\text{внт}} \cos \varphi_{\text{внт}}} \quad (31)$$

10. Отримаємо значення фазового кута зсуву φ_t :

$$|\varphi_t| = \arctg \frac{E_{\text{внт}} \sin \varphi_{\text{внт}}}{E_{20} - E_{\text{внт}} \cos \varphi_{\text{внт}}} \quad (32)$$

11. Формула для визначення намагнічувального струму I , має наступний вигляд:

$$I = \frac{H_0 l_{\text{п}}}{\sqrt{2} W_1} \quad (33)$$

12. Розрахуємо похибки вимірювань γ_{ρ} і γ_t при реалізації вихорострумowego методу за формулами:

$$\gamma_{\rho} = \frac{\rho_t - \rho'_t}{\rho'_t} 100\% \quad (34)$$

$$\gamma_t = \frac{t - t'}{t'} 100\% \quad (35)$$

13. Далі необхідно побудувати градувальні залежності: $N_t = f(\varphi_{\text{внт}})$ і $N_{yt} = f(\varphi_{\text{внт}})$.

Таким чином, наведений алгоритм розрахунку електричних параметрів ТВП і температурних та електричних параметрів зразка харчового барвника, виконується для дискретних значень температур у діапазоні від 20 до 90 °С, через кожні 10 °С. Розглянута методика вимірювального контролю електричних та температурних параметрів зразка харчового барвника, дозволяє підвищити вірогідність вимірювального контролю температури у порівнянні з іншими контактними та безконтактними методами НК [12], у свою чергу, розрахунок очікуваних значень сигналів теплових ТВП, дозволяє встановити раціональні режими роботи ТВП, які відповідають діапазонам змінення електричних і температурних параметрів зразка харчового барвника. Результати розрахунків сигналів теплового ТВП і температурних та електричних параметрів зразка харчового барвника зведемо у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку електричних параметрів ТВП і електричних та температурних параметрів зразка харчового барвника

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}; \alpha = 1,996 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C};$$

$$\rho_l = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{м}; H_0 = 50 \text{ А/м}; t_l = 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$t',$ °С	$E_{\text{внт}},$ В	$\varphi_{\text{внт}},$ град	$\varphi_t,$ град	$\rho_r \cdot 10^{-3},$ Ом·м	x_t	N_t	N_{yt}	$t,$ °С	$\gamma_t,$ %	$\gamma_p,$ %
20										
30										
40										
50										
60										
70										
80										
90										

4. ЧИСЕЛЬНИЙ ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ТВП ТА ХАРАКТЕРИСТИК ЗРАЗКА ХАРЧОВОГО БАРВНИКА, ЩО КОНТРОЛЮЄТЬСЯ (ДЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ТОЧКИ $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Варіант 1

1. Задаючись дискретними значеннями температур в діапазоні від 20 до 90 $^{\circ}\text{C}$ (через кожні 10 $^{\circ}\text{C}$), знаходимо питомий електричний опір ρ_t , наприклад, для $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, маємо:

$$\begin{aligned}\rho_{30^{\circ}\text{C}} &= 4,5 \cdot 10^{-3} + \frac{4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,996 \cdot 10^{-4}}{1 + 1,996 \cdot 10^{-4} \cdot 20} (30 - 20) = \\ &= 4,5089 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}.\end{aligned}$$

2. Знаючи $\rho_{30^{\circ}\text{C}}$, знаходимо узагальнений параметр $x_{30^{\circ}\text{C}}$:

$$x_{30^{\circ}\text{C}} = 1 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 60 \cdot 10^3}{4,5089 \cdot 10^{-3}}} = 0,10245$$

3. Далі визначимо температуру зразка харчового барвника за формулою

$$t = \left(\frac{1 + 1,996 \cdot 10^{-4} \cdot 20}{1,996 \cdot 10^{-4}} \right) \left(\frac{4,5089 \cdot 10^{-3}}{4,5000 \cdot 10^{-3}} - 1 \right) + 20 = 29,95^{\circ}\text{C}.$$

або іншим способом для перевірки температурних даних

$$t = \left(\frac{0,1026^2}{0,1025^2} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1 + 1,996 \cdot 10^{-4} \cdot 20}{1,996 \cdot 10^{-4}} \right) + 20 = 30,05^{\circ}\text{C}.$$

4. Для визначення параметрів N_t і φ_t необхідно скористатися залежностями $N_t = f(x_t)$ і $\varphi_{\text{внт}} = f(x_t)$ з таблиці А.1 (додаток А). При цьому, при попаданні N_t і $\varphi_{\text{внт}}$ між двома близькими значеннями, необхідно здійснювати лінійну інтерполяцію

$$N_t = \frac{(0,10 - 0,10245)}{(0,10 - 0,15)} (0,0028125 - 0,0012500) + 0,0012500 = 0,0013266,$$

$$\varphi_{\text{внт}} = \frac{(0,10245 - 0,10)}{(0,15 - 0,10)} (-89,7851 + 89,9045) - 89,9045 = -89,89865.$$

5. Далі для реалізації другої модифікації електромагнітного метода, потрібно знайти параметр N_{yt}

$$N_{yt} = 0,0013266 \cdot 0,10245^2 = 0,00001392.$$

6. Визначимо ЕРС E_0

$$E_0 = 4,44 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 150 \cdot 3,14 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 50 = 1,135 \text{ В.}$$

7. Розрахуємо коефіцієнт заповнення теплового ТВП зразком харчового барвника, що контролюється

$$\eta = \frac{10^2}{12^2} = 0,8403.$$

8. Визначимо різницеву ЕРС $E_{\text{внт}}$

$$E_{\text{внт}} = 0,0013266 \cdot 1,135 \cdot 0,8403 = 0,0012652 \text{ В.}$$

9. Визначимо ЕРС E_{20}

$$E_{\text{внт}} = 0,8403 \cdot 1,135 = 0,953741 \text{ В.}$$

10. Знаходимо ЕРС E_{2t}

$$E_{2t} = \sqrt{(0,953741)^2 + (0,0012652)^2 - 2 \cdot 0,953741 \cdot 0,0012652 \cos(-89,89865)} = 0,9537396 \text{ В.}$$

11. За формулою (32) визначимо чисельне значення фазового кута зсуву φ_t :

$$|\varphi_t| = \arctg \frac{0,0012652 \sin 0,999998}{0,953741 - E_{\text{внт}} \cos 0,0017689} = 0,0013266 \text{ град.}$$

12. Розрахуємо чисельне значення намагнічувального струму I

$$I = \frac{50 \cdot 0,4}{1,41 \cdot 80} = 0,177 \text{ А.}$$

13. Розрахуємо похибки вимірювань γ_ρ і γ_t при реалізації вихорострумове методу контролю параметрів зразка харчового барвника

$$\gamma_{\rho_{30^\circ\text{C}}} = \frac{\rho_{t_{\text{уб}}} - \rho'}{\rho'} \cdot 100\% = \frac{4,5089 \cdot 10^{-3} - 4,5 \cdot 10^{-3}}{4,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,198\%,$$

$$\gamma_t = \frac{t_{\text{уб}} - t'}{t'} \cdot 100\% = \frac{30,05 - 30,00}{30,00} \cdot 100\% = 0,167\%.$$

За результатами розрахунків електричних параметрів ТВП в діапазоні температур від 20 до 90 °С, побудуємо градуювальні залежності $N_t = f(\varphi_{\text{внт}})$ і $N_{yt} = f(\varphi_{\text{внт}})$.

5. ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Загальний об'єм 10–15 с. Текст має бути написано розбірливим почерком або креслярським шрифтом згідно СТП НТУ «ХП» з висотою букв та цифр не менш ніж 2,5 мм на одній стороні аркуша стандартного формату 297x210 мм; формули та кресельні знаки виконувати кресельним шрифтом. Графічний матеріал виконувати простим олівцем відповідно до стандартів ЄСКД на умовні графічні зображення елементів схем.

Робота повинна містити основні співвідношення, які використовуються при розрахунках електричних параметрів ТВП: ЕРС $E_{\text{внт}}$, E_0 , E_{2t} , E_1 , E_{20} та фазових кутів зсуву $\varphi_{\text{внт}}$ і φ_t . А також алгоритми розрахунків та вирази, які застосовуються при визначенні електричних та температурних параметрів зразка харчового барвника – бетаніна, тобто питомого електричного опору ρ_t і температури t , під час реалізації вихорострумowego метода НК та розрахунки похибок вимірювань γ_ρ і γ_t . Робота також повинна містити таблицю результатів розрахунків електричних параметрів ТВП і електричних та температурних параметрів зразка харчового барвника, градувальні залежності питомих нормованих ЕРС ТВП N_t і N_{yt} від фазового кута зсуву теплового ТВП $\varphi_{\text{внт}}$, тобто $N_t = f(\varphi_{\text{внт}})$ і $N_{yt} = f(\varphi_{\text{внт}})$.

Контрольні питання

1. Розповісти про призначення харчових барвників.
2. Приклади використання бетаніна в харчовій промисловості.
3. Система НАССР. У чому полягають основні принципи системної концепції НАССР?
4. Якими законами регулюються в Україні відносини у галузі виробництва харчових продуктів та продовольчої сировини?
5. Дайте визначення поняттю «якість продукції».
6. Дайте характеристику рівнів оцінки якості продукції.
7. Наведіть принципи управління якістю.
8. У чому переваги систем управління якістю?
9. Назвіть інструменти контролю якості.
10. Як визначають показники якості продукції?
11. Як порівнюють показники якості продукції?
12. Які показники якості називають базовими?
13. Що називають рівнем якості харчових виробів?
14. Поясніть термін «базовий зразок».
15. Дайте визначення поняттю «неруйнівний контроль».
16. На яких фізичних явищах засновано електромагнітні методи (НК)?
17. Принцип дії трансформаторного вихорострумowego перетворювача (ТВП) зі зразком харчового барвника.
18. Яким чином здійснюється вибір робочої точки на функціях перетворення ТВП $N_t = f(x_t)$ та $N_{yt} = f(x_t)$?
19. Фізична сутність параметрів N_t , N_{yt} , $\varphi_{\text{внт}}$ і x_t ? Навести співвідношення.
20. Основні переваги вихорострумowych методів НК для контролю сипких та рідинних зразків харчового продукту та продовольчої сировини.
21. У яких випадках для контролю рідких харчових продуктів, доцільно використання мініатюрного трансформаторного вихорострумowego перетворювача?

22. Навести формулу залежності питомого електричного опору ρ від температури t (для діапазону температур, що досліджується).
23. Які сигнали ТВП при реалізації вихорострумів методів контролю продовольчої сировини і харчових продуктів є інформативними?
24. Дайте визначення поняттям: «абсолютна, відносна, методична, систематична, інструментальна, груба похибка вимірювань».
25. Розповісти про характеристики якості результату вимірювань.
26. Яке значення має точність вимірювань?
27. Дайте визначення поняттю «похибка вимірювань».
28. Для чого у практику технічних вимірювань введено поняття «нормальні умови вимірювань»?

Список використаних джерел

1. Димань Т.М. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів. / Підручник/ Т.М. Димань, Т.Г. Мазур. – Київ: Академія. – 2011. – 517 с.
2. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. – Washington: American Public Health Association, 2017. – 1504 p. URL: <https://www.standardmethods.org>
3. ДСН В.2.2-12:2019. Планування й розвиток територій. Гідроморфологічна зона. Оцінка якості води для рекреаційного використання. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/norm_docs/dsn-b-2-2-12-2019.pdf
4. Новохацька О. О. Екологічний моніторинг: методичний посібник. – Київ: НУБіП України, 2020. – 96 с. URL: <https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u243/24.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. Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І. Природоохоронні технології. Методи очищення стічних вод. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 254 с. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/14296>
7. Себко В.В., Тихомирова Т.С., Саун 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., Саун А.О. – Харків: НТУ "ХПІ", 2024. – 76 с. <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/66764cc1-264c-4bd4-b5c4-0aa4f88baa8f>
8. 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. Саун, О.В. Адашевський – Харків: НТУ «ХПІ», 2024 – 45 с. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/83793>

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Залежності амплітуди N_t і фази $\varphi_{\text{внГ}}$ сигналу теплового ТВП від x_t

x_t	N_t	$\varphi_{\text{внГ}}$, град
1	2	3
0,05	0,0003125	-89,9761
0,10	0,0012500	-89,9045
0,15	0,0028125	-89,7851
0,20	0,0049999	-89,6180
0,25	0,0078120	-89,4032
0,30	0,0112487	-89,1406
0,35	0,0153091	-88,8304
0,40	0,0199924	-88,4725
0,45	0,0252972	-88,0671
0,50	0,0312212	-87,6142
0,55	0,0377615	-87,1141
0,60	0,0449142	-86,5668
0,65	0,0526739	-85,9728
0,70	0,0610341	-85,3324
0,75	0,0699865	-84,6459
0,80	0,0795209	-83,9140
0,85	0,0896249	-83,1374
0,90	0,1002839	-82,3167
0,95	0,1114809	-81,4530
1,00	0,1231959	-80,5473
1,05	0,1354062	-79,6009
1,10	0,1480860	-78,6152
1,15	0,1612067	-77,5917
1,20	0,1747365	-76,5322
1,25	0,1886404	-75,4388
1,30	0,2028808	-74,3135
1,35	0,2174174	-73,1586
1,40	0,2322072	-71,9767
1,45	0,2472056	-70,7703
1,50	0,2623658	-69,5423
1,55	0,2776401	-68,2956
1,60	0,2929801	-67,0331
1,65	0,3083372	-65,7579
1,70	0,3236633	-64,4733
1,75	0,3389112	-63,1822
1,80	0,3540353	-61,8878
1,85	0,3689924	-60,5933

Продовження таблиці А.1

1	2	3
1,90	0,3837415	-59,3017
1,95	0,3982448	-58,0158
2,00	0,4124679	-56,7384
2,05	0,4263801	-55,4723
2,10	0,4399543	-54,2199
2,15	0,4531676	-52,9835
2,20	0,4660011	-51,7652
2,25	0,4784394	-50,5669
2,30	0,4904715	-49,3904
2,35	0,5020895	-48,2371
2,40	0,5132892	-47,1084
2,45	0,5240694	-46,0052
2,50	0,5344320	-44,9286
2,55	0,5443810	-43,8792
2,60	0,5539232	-42,8575
2,65	0,5630668	-41,8639
2,70	0,5718220	-40,8987
2,75	0,5802002	-39,9618
2,80	0,5882139	-39,0532
2,85	0,5958765	-38,1728
2,90	0,6032019	-37,3203
2,95	0,6102044	-36,4953
3,00	0,6168986	-35,6974
3,05	0,6232992	-34,9260
3,10	0,6294207	-34,1807
3,15	0,6352775	-33,4608
3,20	0,6408837	-32,7657
3,25	0,6465231	-32,0946
3,30	0,6513990	-31,4469
3,35	0,6563342	-30,8219
3,40	0,6610710	-30,2188
3,45	0,6676214	-29,6370
3,50	0,6699966	-29,0756
3,55	0,6742073	-28,5340
3,60	0,6782636	-28,0113
3,65	0,6821752	-27,5070
3,70	0,6859510	-27,0203
3,75	0,6895997	-26,5505
3,80	0,6931292	-26,0969
3,85	0,6955470	-25,6588

Кінець таблиці А.1

1	2	3
3,90	0,6998601	-25,2357
3,95	0,7030749	-248269
4,00	0,7061977	-24,4317
4,05	0,7092340	-24,0497
4,10	0,7121892	-23,6802
4,15	0,7150680	-23,3227
4,20	0,7178750	-22,9767
4,25	0,7206143	-22,6416
4,30	0,7232899	-22,3170
4,35	0,7259053	-22,0024
4,40	0,7284637	-21,6974
4,45	0,7309681	-21,4016
4,50	0,7334214	-21,1145
4,55	0,7358261	-20,8357
4,60	0,7381845	-20,5649
4,65	0,7404988	-20,3018
4,70	0,7450027	-20,0459
4,75	0,7450027	-19,7970
4,80	0,7471958	-19,5548
4,85	0,7493517	-19,3190
4,90	0,7514718	-19,0893
4,95	0,7535574	-18,8654
5,00	0,7556097	-18,6472
5,05	0,7576297	-18,4343
5,10	0,7596185	-18,2265
5,15	0,7615769	-18,0237
5,20	0,7635058	-17,8257
5,25	0,7654060	-17,6322
5,30	0,7672782	-17,4431
5,35	0,7691231	-17,2582
5,40	0,7709413	-17,0774
5,45	0,7727334	-16,9004
5,50	0,7745000	-16,7272
5,55	0,7762415	-16,5577
5,60	0,7779585	-16,3916
5,65	0,7796514	-16,2289
5,70	0,7813208	-16,0694
5,75	0,7829669	-15,9132
5,80	0,7829669	-15,9132
5,85	0,7861913	-15,6096

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Вихідні дані.....	6
2. Основні терміни і визначення, які використовуються при вивченні курсу «методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря, ґрунту, води та продовольчої сировини».....	8
3. Розрахунок електричних параметрів ТВП при реалізації вихорострумowego методу НК та визначення електричних і температурних характеристик зразка харчового барвника.....	13
4. Чисельний приклад розрахунку параметрів ТВП та характеристик зразка харчового барвника, що контролюється (для температурної точки $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$)	23
5. Оформлення звіту контрольної роботи.....	25
Контрольні питання.....	26
Список використаних джерел.....	28
Додаток А.....	29

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання контрольної роботи
з дисципліни «Методи контролю шкідливих речовин у зразках повітря,
грунту, води та продовольчої сировини»
для здобувачів третього рівня вищої освіти усіх форм навчання
спеціальності Е2 «Екологія»

Укладачі:

СЕБКО Вадим Вадимович

БОСЮК Альона Сергіївна

Відповідальний за випуск Шестопапов О.В.

Роботу рекомендував до друку проф. Самойленко Н.М.

В авторській редакції

План 2026 р., поз. 325

Підп. до друку Гарнітура Times New Roman

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

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронна версія