

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
«КОНТРОЛЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І ТЕМПЕРАТУРИ ДЕТАЛЕЙ  
ОБЛАДНАННЯ МАШИН ТА АПАРАТІВ ПЕРЕРОБНИХ І ХІМІЧНИХ  
ВИРОБНИЦТВ»

З ДИСЦИПЛІНИ  
«МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ МАШИН І АПАРАТІВ,  
ДІАГНОСТИКА ТА МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ»

для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
спеціалізацій:

«Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

«Обладнання переробних і харчових виробництв»

Харків  
НТУ «ХП»  
2019

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
«КОНТРОЛЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І ТЕМПЕРАТУРИ ДЕТАЛЕЙ  
ОБЛАДНАННЯ МАШИН ТА АПАРАТІВ ПЕРЕРОБНИХ І ХІМІЧНИХ  
ВИРОБНИЦТВ»

З ДИСЦИПЛІНИ  
«МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ МАШИН І АПАРАТІВ,  
ДІАГНОСТИКА ТА МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ»

для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
спеціалізацій:

«Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

«Обладнання переробних і харчових виробництв»

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 1 від 16.01.19

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2019

Методичні вказівки до практичних занять «Контроль електричних параметрів і температури деталей обладнання машин та апаратів переробних і хімічних виробництв» з дисципліни «Методи дослідження стану машин та апаратів, діагностика і моніторинг технічного стану» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізацій: «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів», «Обладнання переробних і харчових виробництв» денної та заочної форм навчання / уклад. В.В. Себко, В.М. Бабенко, О.В. Горбунова, Н.С. Забіяка. – Харків: НТУ «ХП», 2019. – 33 с.

Укладачі:

В.В. Себко,

В.М. Бабенко,

Н.С. Забіяка

О.В. Горбунова

Рецензент В.Ф. Моїсеєв

Кафедра Хімічна техніка та промислова екологія

## ВСТУП

**Метою контрольної роботи** є вивчення методики розрахунків інформативних параметрів трансформаторного вихорострумowego перетворювача (ТВП) з немагнітними деталями обладнання пласкої форми, що контролюються на машинобудівному підприємстві під час реалізації вихорострумowego методу неруйнівного контролю (НК).

Дана робота має п'ятнадцять варіантів завдань і розрахована на одну групу студентів. Ці варіанти допоможуть студентам, користуючись заданими фізико-механічними параметрами пласких виробів та геометричними параметрами ТВП, розв'язати пряму задачу вихорострумowego НК – визначити ЕРС ТВП та фазові кути зсуву при зондуванні деталей машинобудівного обладнання, що контролюються, змінним магнітним полем.

Найважливішим результатом розв'язку прямої задачі є встановлення діапазонів ЕРС та фазових кутів зсуву, які відповідають границям змінення питомого електричного опору  $\rho$  і температури  $t$  немагнітних пласких виробів, що надає можливість підбору вимірювальної апаратури схеми включення ТВП, а також дозволяє знайти раціональні з точки зору досягнення малих похибок вимірювань режими роботи теплових ТВП. Слід визначити, що з точки зору підвищення якості та безпеки при виробництві машинобудівного обладнання, важливе значення мають ті методи та пристрої НК, які дозволяють визначати параметри стандартних деталей устаткування не тільки відповідального машинобудування, а й з'єднувального обладнання та обладнання інструментарію (з'єднувальних пластин, опорних пластин для монтажу, пластин металорізного інструменту, з'єднувальних елементів притискних і проміжних вальців, барабанів, розподільних кулачків, дозаторів цементу, шнеків, дозувальних закривів та ін.).

Саме тому виникає необхідність у проектуванні та конструюванні вимірювальних установок на основі вихорострумowych перетворювачів з

досліджуваними пласкими немагнітними виробами, деталями та конструкціями продукції машинобудування, хімічного машинобудування і приладобудування.

При цьому, реалізація безконтактних вихорострумів методів дозволяє також дослідити розподіл температури  $t$  за перерізом плаского виробу на кожній глибині проникнення магнітного поля ТВП у виріб, що є безумовною перевагою даних методів у порівнянні з іншими методами НК немагнітних виробів пласкої форми.

Таким чином, знання про сучасні безконтактні вихорострумові методи та пристрої НК фізико-механічних параметрів з'єднувальних елементів, пластин інструментарію, опорних пластин, деталей обладнання та виробів, повинні бути використані під час діагностування вузлів і конструкцій машинобудування, хімічного машинобудування, конструювання приладів та систем екологічного призначення, створення автоматизованих систем керування важливими технологічними процесами, наприклад, відпалювання деталей і конструкцій обладнання машинобудування, контроль параметрів елементів і вузлів приладів та систем екологічного призначення, а також під час практичних занять з дисципліни «Методи дослідження стану машин і апаратів, діагностика та моніторинг технічного стану».

## 1. ВХІДНІ ДАНІ

Дані до розрахунку вибирають за номером завдання, відповідно до порядкового номеру прізвища студента у робочому журналі. У таблиці 1 (у відповідних стовпцях) вказано наступні дані (зліва – направо): номер завдання;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору (ТКО) матеріалу виробу;  $\chi_0$  – узагальнений магнітний параметр, при початковій температурі  $t = t_{\Pi} = 20$  °С;  $H_0$  – напруженість магнітного поля ТВП;  $l_{\Pi}$  – довжина (первинної) намагнічувальної обмотки ТВП (при цьому  $l_{\Pi} = l$ , де  $l$  – довжина зразка, що контролюється);  $\rho_l$  – питомий електричний опір, при  $t = t_{\Pi} = 20$  °С;  $W_1$  – число витків намагнічувальної обмотки;  $W_2$  – число витків вторинної (вимірювальної) обмотки; товщина пластини  $d$ ; ширина пластини  $h$ ; товщина каркасу  $d_k$ ; ширина каркасу  $h_k$ ; матеріал виробу. Також відома початкова температура  $t_{\Pi} = 20$  °С з досліджуваного діапазону температур  $t = [20 \dots 120$  °С]; магнітна стала  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м і відносна магнітна проникність немагнітних виробів  $\mu_r = 1$ .

Таблиця 1 – Вхідні дані:  $t_1 = 20$  °С, діапазон температур  $t = [20 \dots 120$  °С],

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}, \mu_r = 1.$$

№ прізвища студента в журналі	$\alpha \cdot 10^{-3}$ , 1/°С	$\chi_0$	$H_0$ , А/м	$l_{\Pi}$ , мм	$\rho_l \cdot 10^{-8}$ , Ом·м	$W_1$	$W_2$	$d$ , мм	$h$ , мм	$d_k$ , мм	$h_k$ , мм	Матеріал виробу
1	4,2	3,5	150	50	5,8	280	600	0,5	5	0,7	6	дюраль
2	3,5	2,0	270	75	1,58	70	170	0,7	8	0,9	9	срібло
3	4,23	1,5	200	100	2,83	350	750	1	10	1,2	11	алюміній
4	4,29	4	250	70	1,75	200	580	0,7	3	0,7	7	мідь М1
5	3,9	5,8	300	60	1,05	260	650	0,6	9	1	10	латунь
6	4,2	2,5	280	80	7,7	450	750	0,8	10	1,4	12	Алюмінієва бронза
7	4,26	6,0	320	40	1,04	500	800	0,4	6	0,5	7	латунь ЛС59

8	3,3	4,0	265	90	1,55	400	800	0,9	10	1	11	тантал
9	4,1	2,7	520	60	2,2	300	180	0,6	8	0,8	9	свинець
10	4,28	2,5	250	50	1,78	285	900	0,5	6	0,7	7	латунь Л63
11	4,17	2,9	550	40	6,0	290	1050	0,4	5	0,6	6	Дюраль Д16Т
12	4,25	7,5	700	150	2,85	900	330	1,5	1,8	2	2	алюміній АД33
13	4,0	1,8	420	70	7,84	1000	400	0,7	7	0,8	8	Бронза олов'яна Бр. ОФ 6,5–0,15
14	4,21	1,9	540	50	1,73	400	1000	0,5	6	0,7	7	мідь М4
15	3,84	2,4	615	70	1,045	300	850	0,7	8	0,9	10	латунь ЛК 80–3

## **2. ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИВЧЕННІ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Планові та позапланові обстеження і моніторинг окремих показників технічного стану об'єктів машинобудування є елементами нагляду, які визначають технічний стан об'єкту. В практиці експлуатації складних металевих конструкцій машинобудування зустрічаються ситуації, коли частина такої конструкції з будь-яких причин недоступна безпосередньому спостереженню [1–4]. Технічна діагностика вивчає методи отримання і оцінки діагностичної інформації, діагностичні моделі і алгоритми прийняття рішень. Метою технічної діагностики є підвищення надійності та ресурсу технічних систем. Як відомо, найважливішим показником надійності є відсутність відмов під час експлуатації технічної системи. Слід визначити, що обстеження являються вірогідною основою для формування раціонального складу і умов здійснення заходів з догляду за об'єктом машинобудування для підтримання експлуатаційної придатності (або припинення експлуатації) [1–4].

Плановими обстеженнями оцінюють поточний технічний стан об'єкта, встановлюють можливість його подальшої безаварійної експлуатації або необхідність відновлення експлуатаційних властивостей [1–4].

*Контроль якості з руйнуванням (руйнівний контроль)*, який проводиться методами хімічного, спектрального, рентгеноструктурного та металографічного аналізу, дозволяє виявити відхилення від заданих параметрів складу і структури металу, але вимагає повного або часткового руйнування об'єкту або виготовлення пробних зразків. Велика трудомісткість, витрати металу і паливно-енергетичних ресурсів, зумовили використання руйнівних методів контролю тільки у вигляді вибіркового контролю якості. При цьому, в сучасний період, коли техніка стає все більш складною, вибіркового контролю відповідальних деталей машинобудування, що працюють у важких експлуатаційних умовах, стає недостатнім для забезпечення високої працездатності та надійності. Більш ефективним є контроль кількісних фізико-механічних параметрів (відносної магнітної проникності  $\mu_r$ , питомого електричного опору  $\rho_t$  і температури  $t$ ) деталей обладнання, які свідчать про суцільність і однорідність макроструктури металу та відхилень хімічного складу, слід здійснювати за допомогою методів неруйнівного контролю [1–4].

Неруйнівний контроль (НК) забезпечує якість, надійність та безпеку експлуатації різноманітних технічних об'єктів машинобудівного виробництва, що контролюються.

Таким чином, *НК – це контроль, при здійсненні якого не повинна бути порушена придатність об'єкта контролю (ОК) до використання стосовно свого призначення*. Важливою складовою систем управління якістю продукції є засоби НК деталей машинобудівного обладнання, конструкцій і виробів обладнання харчових і хімічних виробництв, а також технології технічної діагностики стану об'єктів контролю. При цьому, високоякісний об'єкт (виріб, деталь, конструкція) повинна відрізнятися постійністю хімічного складу, мікро– та макроструктури, електричними і магнітними характеристиками



матеріалу, геометричними розмірами, а також підвищеними механічними, антикорозійними та іншими властивостями.

Таким чином, технічна діагностика здійснюється з метою визначення технічного стану досліджуваного об'єкту [1–4]. *Технічна діагностика – це галузь знань, яка досліджує технічний стан об'єктів діагностування та виявлення технічних станів, розробляє методи їх визначення, а також принципи побудови та організацію використання систем діагностування. Технічне діагностування – процес визначення технічного стану об'єкта діагностування з певною точністю. При діагностуванні необхідно розрізняти робочі дії, які виконуються об'єктом при його функціонуванні та тестові дії на об'єкт, які застосовуються тільки для діагностування.*

*Технічний стан – сукупність властивостей об'єкта, які змінюються в процесі виробництва або експлуатації і характеризуються у певний момент часу ознаками, встановленими технічною документацією на об'єкт [1–4].*

*Об'єкт технічного діагностування – це споруда, машина, вузол, деталь, з'єднання, виріб та його складові, частини або заготовки, технічний стан яких підлягає визначенню. Об'єкт випробувань – це продукція, що підлягає випробуванню [1–4]. Ознака продукції – якісна або кількісна характеристика будь-яких властивостей або стану продукції. Ознака, що контролюється – характеристика об'єкта, який підлягає контролю. Обсяг контролю – це кількість об'єктів і сукупність ознак, встановлених для проведення контролю [1–4].*

Рівень розвитку машинобудівної галузі на сучасному етапі характеризується не тільки об'ємом виробництва та асортиментом нової продукції, а й показниками її якості. У рішенні найважливішої проблеми підвищення якості продукції головну роль виконують методи і засоби НК [1–4]. *Якість продукції – це сукупність властивостей і характеристик, що надають продукції здатності задовольняти встановленим або передбачуваним потребам. Якість виготовлення – це сукупність характеристик процесу виготовлення продукції,*

від яких залежить відповідність цього процесу та його результатів певним вимогам. Показник якості продукції – це кількісна характеристика однієї чи декількох властивостей продукції, що характеризують її якість у певних умовах створення, використання чи споживання [1–4]. У загальному сенсі метод контролю – це правила застосування певних принципів і засобів контролю. Неруйнівні випробування передбачають реєстрацію сигналу, що контролюється, тобто сигналу, що надходить на вхід засобу НК і несе інформацію про технічний стан ОК. Засоби контролю – це технічні пристрої, речовини та матеріали для проведення контролю. Найбільш ефективними вихорострумівими методами, з точки зору сумісного вимірювального контролю, являються амплітудні та фазові методи НК на базі трансформаторного вихорострумівого перетворювача (ТВП). Амплітудним методом вихорострумівого контролю є метод вихорострумівого НК, заснований на вимірюванні амплітуди сигналу вихорострумівого перетворювача. Фазовий метод вихорострумівого контролю – це метод НК, заснований на вимірюванні фази сигналу вихорострумівого перетворювача. Параметр виробу – це характеристика виробу за фізичною ознакою [1–8]. Електричний параметр виробу, питомий електричний опір  $\rho$  – це електричний опір  $l$  м провідника при площі поперечного перерізу  $1 \text{ мм}^2$ . В твердих тілах електричний опір пов'язано з зіткненням вільних електронів з електричними полями іонів у вузлах кристалічної решітки. Температура  $t$  – це фізична величина, що визначається як параметр стану термодинамічної рівноваги фізичних систем [8].

Далі з урахуванням результатів робіт [1–8], переходимо до основної частини методичних вказівок.

### **3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТВП З ПЛАСКИМ ВИРОБОМ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИХОРОСТРУМІВОВОГО МЕТОДУ НК**

Основою вихорострумівих методів контролю параметрів матеріалів, виробів, вузлів і конструкцій є ефект впливу вихрових струмів, що

збуджуються безпосередньо в ОК, на електричні компоненти сигналів первинних вихорострумів перетворювачів [1–5]. При цьому як засіб НК, буде застосовано трансформаторний вихорострумівий перетворювач (ТВП), який включає до себе дві обмотки (намагнічувальну та вимірювальну) і перетворює параметр, що контролюється, в ЕРС та фазу вимірювальної обмотки ТВП [1–5].

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 виробу, що контролюється. Оскільки вимірювальна котушка (обмотка) цього вихорострумівого перетворювача виконує функції вторинної обмотки трансформатора, він називається *трансформаторним*. При цьому амплітуда і фаза ЕРС вторинної обмотки ТВП залежать від параметрів ОК (у даному випадку фізико-механічних характеристик плоского виробу) [1-7].

На рис. 1 подано схему теплового ТВП за допомогою якої здійснюється безконтактний вимірювальний контроль електричного параметра  $\rho$  і температури  $t$  плоского зразку, під час реалізації вихорострумівого методу НК. Слід відзначити, що для нагріву ОК у процесі контролю схема містить гріючий пристрій ГП. Схема ТВП передбачає два ідентичних електромагнітних перетворювача РП (робочій перетворювач) і ОП (опорний перетворювач). Намагнічувальні обмотки РП і ОП увімкнуті послідовно-узгоджено, а вимірювальні – безпосередньо до приладів схеми. Таким чином, ТВП одночасно виконує наступні функції: створює магнітне поле у досліджуваному плоскому зразку, надає інформацію щодо інформативних сигналів (які підлягають подальшому оброблянню), здійснює нагрівання плоского зразка за допомогою гріючого пристрою (ГП).

Контрольним методом вимірювання температури є термометри опору нікелеві ТОН, які закріплено безпосередньо до плоского зразка [8].

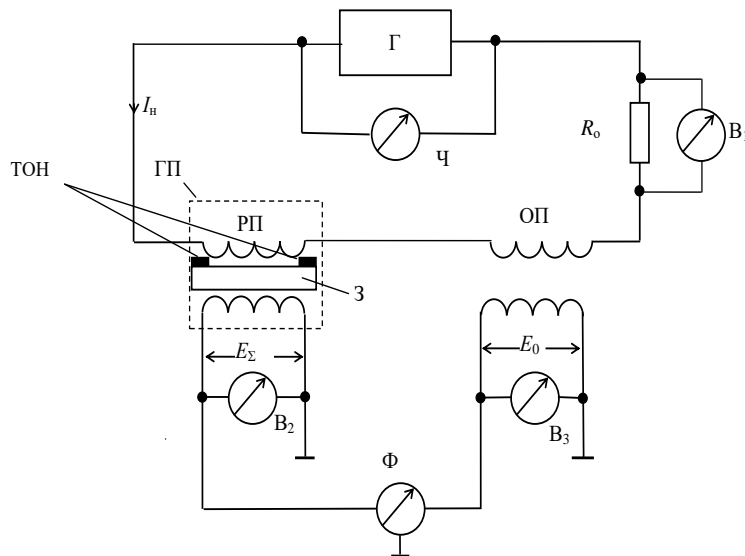


Рисунок 1 – Схема теплового ТВП для безконтактного вимірювального контролю питомого електричного опору  $\rho$  і температури  $t$  немагнітного плоского зразка

Слід відзначити, що схема на рис. 1, не передбачає компенсацію ефектів повітряного проміжку, при цьому вважають, що вимірювальна обмотка знаходиться безпосередньо на зразку, що контролюється [5]. Схема також містить генератор  $\Gamma$ , частотомір  $\text{Ч}$ , вольтметри  $V_1$ ,  $V_2$  і  $V_3$ , зразковий опір  $R_0$ , досліджуваний плоский зразок  $\text{З}$ , фазометр  $\Phi$ . Вольтметр  $V_1$  призначено для визначення намагнічувального струму  $I_n$  (відповідно до закону Ома). Під час роботи схеми за допомогою вольтметра  $V_2$  вимірюємо ЕРС  $E_\Sigma$  при наявності плоского зразка в РП, за допомогою вольтметра  $V_3$  вимірюємо ЕРС  $E_0$  в ОП (без зразка). Фазовий кут зсуву  $\varphi_0$  (між ЕРС  $E_0$  та  $E_\Sigma$ ) визначаємо за допомогою фазометра  $\Phi$ . Таким чином, досліджується математична модель системи ТВП – ОК (у даному випадку зразок плоскої форми  $\text{З}$ ) параметри якої ЕРС  $E_0$  та  $E_\Sigma$ , фазовий кут зсуву  $\varphi_0$ , питомий електричний опір  $\rho$  і температура  $t$ , а також геометричні параметри ТВП і  $\text{З}$ , які у даному випадку є заданими [5–7]. Для пояснення створюваних ТВП інформативних параметрів, нижче наведена векторна діаграма ЕРС та фазових кутів зсуву з урахуванням змінення температури плоского виробу, що нагрівається в процесі контролю.

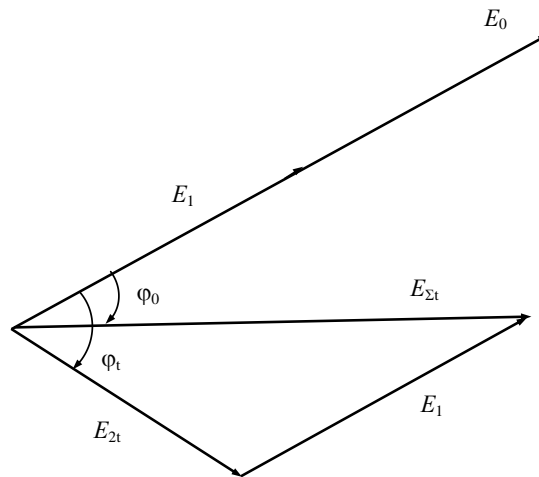


Рисунок 2 – Векторна діаграма ЕРС і фазових кутів теплового ТВП з немагнітним пласким зразком з урахуванням температури зразку

На рис. 2 подано векторну діаграму ЕРС і фазових кутів зсуву теплового ТВП, де  $E_0$  – ЕРС вимірювальної обмотки теплового ТВП у відсутності зразка;  $E_1$  – ЕРС, що обумовлена проходженням магнітного потоку у повітряному проміжку між пласким зразком та вимірювальною обмоткою;  $E_{2t}$  – ЕРС, що обумовлена проходженням магнітного потоку усередині досліджуваного плаского зразка;  $\varphi_0$  – фазовий кут зсуву між ЕРС  $E_0$  та ЕРС  $E_{\Sigma t}$ ;  $\varphi_t$  – фазовий кут зсуву між ЕРС  $E_0$  та ЕРС  $E_{2t}$ .

Таким чином, проектування вихорострумівих перетворювачів та добір вимірювальних приладів необхідної точності та чутливості, спонукає до розв'язку прямої задачі [5]. Пряма задача полягає у наступному: при відомих геометричних параметрах вихорострумівого перетворювача та плаского зразка, використовуючи лінійну залежність  $\rho$  від  $t$  в досліджуваному діапазоні (для металів), знаючі температурний коефіцієнт опору (ТКО)  $\alpha$ , визначаємо електричні параметри ТВП: ЕРС  $E_{\Sigma t}$ ,  $E_0$ ,  $E_1$ ,  $E_{2t}$  та фазові кути зсуву  $\varphi_0$  і  $\varphi_t$ . Слід відзначити, що побудова градуювальних залежностей є кінцевим етапом розрахунку електричних параметрів ТВП з пласким виробом, при реалізації електромагнітного методу НК, тобто залежностей  $E_{\Sigma t} = f(t)$ ,  $E_{2t} = f(t)$  та  $\varphi_t = f(t)$  і  $\varphi_0 = f(t)$ .

Нижче наведено алгоритм розрахунку електричних параметрів теплового ТВП зі зразком пласкої форми, що контролюється.

1. Робочу точку слід вибирати з міркувань найбільшої чутливості ТВП до параметрів плаского зразка, тобто на залежностях  $k_t = f(x_t)$  і  $\varphi_t = f(x_t)$  (таблиця А.1 додаток А), а саме на фрагментах цих залежностей у діапазоні  $0,78 \leq x \leq 8$  (де крутизна універсальних функцій перетворення є найбільшою). При цьому  $k_t$  – це питомий нормований магнітний потік усередині плаского зразка або питома нормована ЕРС [5].

$$k_t = \frac{E_{2t}}{E_0 \eta \mu_r}, \quad (1)$$

де індекс  $t$  свідчить про те, що досліджуваний параметр є залежним від температури;  $\mu_r$  – відносна магнітна проникність, для немагнітних зразків  $\mu_r = 1$ ;  $\eta$  – коефіцієнт заповнення ТВП виробом,  $a$  і  $a_n$  радіуси виробу і ТВП відповідно. Фізична сутність узагальненого параметра  $x$  – це відношення радіусу виробу до класичної глибини проникнення магнітного поля у плаский виріб, що контролюється [4, 5]:

$$x_t = \frac{a\sqrt{2}}{\delta}. \quad (2)$$

Класична глибина проникнення магнітного поля у виріб  $\delta$  – 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) [2-5].

2. Зробимо розрахунок частоти намагнічувального струму ТВП  $f_1$ , яка відповідає початковій температурі  $t_{\Pi}$ , за формулою

$$f_1 = \frac{x_0^2 \rho_{\Pi}}{\pi d^2 \mu_0}. \quad (3)$$

3. Визначимо ЕРС  $E_0$ , користуючись формулою

$$E_0 = 4,44 \mu_0 H_0 h_{\kappa} d_{\kappa} W_2. \quad (4)$$

4. Формула для визначення ефективного значення струму  $I_n$  має такий вигляд:

$$I_{\text{н}} = \frac{H_0 l_{\text{п}}}{\sqrt{2W_1}}. \quad (5)$$

5. Задаючись дискретними значеннями температур у діапазоні від 20 до 120 °С, через кожні 10 °С, визначаємо питомий електричний опір  $\rho_t$  для кожного дискретного значення температури, за формулою [8]:

$$\rho_t = \rho_{\text{п}} + \frac{\rho_{\text{п}}\alpha}{1 + \alpha t_{\text{п}}}(t - t_{\text{п}}). \quad (6)$$

6. Знаючи питомий електричний опір  $\rho_t$ , знаходимо узагальнений магнітний параметр  $x_t$  для кожної досліджуваної температурної точки:

$$x_t = a \sqrt{\frac{2\pi\mu_0 f_1}{\rho_t}}. \quad (7)$$

7. Для визначення параметрів  $k_t$  і  $\varphi_t$  необхідно скористатися залежностями  $k_t = f(x_t)$  і  $\varphi_t = f(x_t)$  з таблиці А.1 (додаток А). Слід визначити, що при попаданні  $x_t$  між двома близькими значеннями, необхідно здійснювати лінійну інтерполяцію за формулами:

$$k_t = \frac{(x_2 - x_t)}{(x_2 - x_1)}(k_1 - k_2) + k_2, \quad (8)$$

де  $x_t$  – значення узагальненого параметру, що розраховано за формулою (7);  $x_2$  – кінцеве значення з двох близьких значень, між яких знаходиться  $x_t$ ;  $x_1$  – попереднє значення з двох близьких значень, між яких знаходиться  $x_t$ ;  $k_1$  – значення параметру  $k_t$ , яке відповідає  $x_1$ ;  $k_2$  – значення параметру  $k_t$ , яке відповідає  $x_2$ ,

та формулою:

$$\varphi_t = \frac{(x_t - x_1)}{(x_2 - x_1)}(\varphi_2 - \varphi_1) + \varphi_1, \quad (9)$$

де  $\varphi_2$  – значення параметру  $\varphi_t$ , яке є відповідним  $x_2$ ;  $\varphi_1$  – значення параметру  $\varphi_t$ , яке є відповідним  $x_1$ .

8. Розрахуємо коефіцієнт заповнення ТВП плоским зразком, що контролюється [1, 2]:

$$\eta = \frac{a^2}{a_{\Pi}^2}. \quad (10)$$

9. Визначимо ЕРС  $E_2$ , за формулою

$$E_2 = k_t E_0 \eta. \quad (11)$$

10. Далі визначимо ЕРС  $E_1$

$$E_1 = E_0 (1 - \eta). \quad (12)$$

11. Знаходимо ЕРС  $E_{\Sigma t}$  за допомогою векторної діаграми (рис. 2) та користуючись теоремою косинусів, яка полягає у наступному: квадрат сторони трикутника дорівнює сумі квадратів двох інших сторін без подвоєного добутку цих сторін на косинус кута між ними [8], звідки маємо:

$$E_{\Sigma t} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \varphi}. \quad (13)$$

12. Знаходимо значення фазового кута зсуву  $\varphi_0$ , за формулами

$$|\operatorname{tg} \varphi_0| = \frac{E_2 \sin \varphi}{E_2 \cos \varphi + E_1}, \quad (14)$$

$$|\varphi_0| = \operatorname{arctg} \frac{E_2 \sin \varphi}{E_2 \cos \varphi + E_1}. \quad (15)$$

13. Далі необхідно побудувати градувальні залежності:  $E_{\Sigma t} = f(t)$ ,  $E_{2t} = f(t)$  – амплітудний метод і  $\varphi_0 = f(t)$ ,  $\varphi_t = f(t)$  – фазовий метод.

Таким чином, наведений алгоритм розрахунку електричних параметрів ТВП, виконується для дискретних значень температур у діапазоні від 20 до 120 °С, через кожні 10 °С. Результати розрахунків зведемо у таблицю 2.

Таблиця 2 – Розрахунок електричних параметрів ТВП з пласким зразком, що нагрівається у процесі контролю

$$\mu_r = 1; \quad f_1 = \quad [\text{Гц}]; \quad \eta = \quad ; \quad I_n = \quad [\text{А}]$$

$t$ , °С	$\rho_t \cdot 10^{-8}$ , Ом·м	$x_t$	$k_t$	$\varphi_t$ , град	$E_2$ , В	$E_{\Sigma t}$ , В	$\varphi_0$ , град
20							
30							
40							



50							
60							
70							
80							
90							
100							
110							
120							

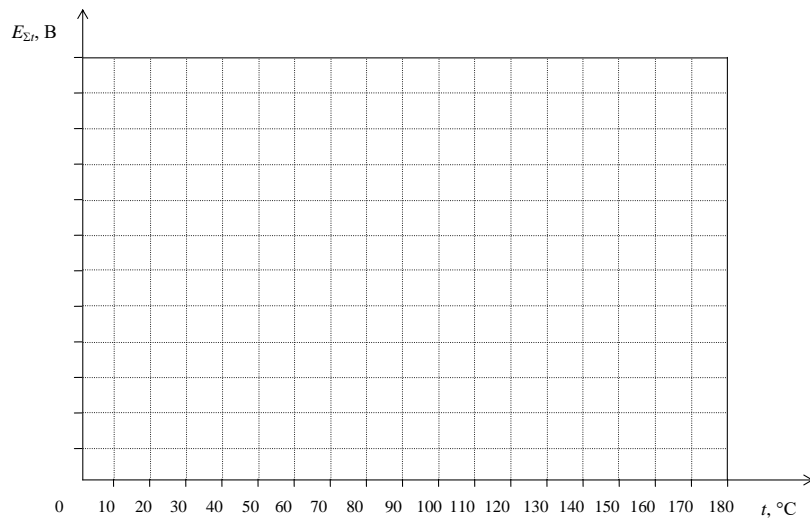


Рисунок 3 – Градувальна залежність  $E_{\Sigma t} = f(t)$ .

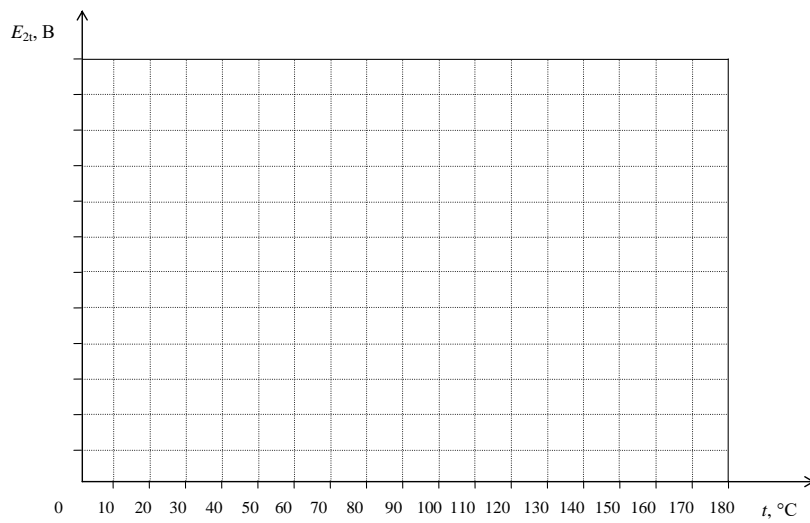


Рисунок 4 – Градувальна залежність  $E_{2t} = f(t)$ .

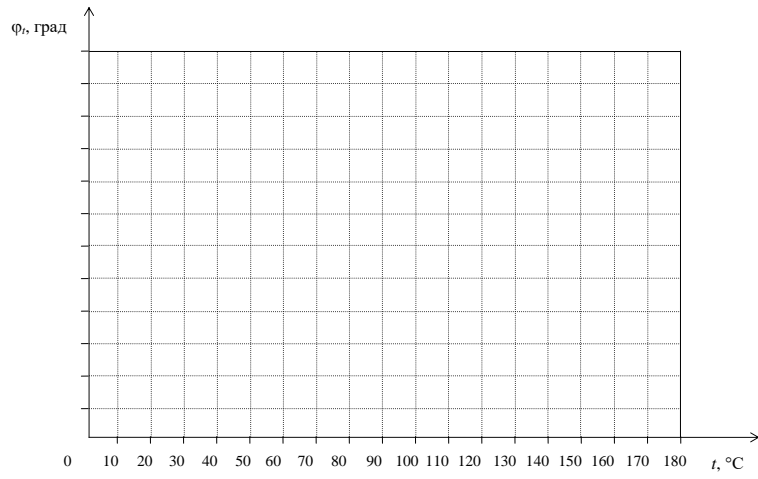


Рисунок 5 – Градувальна залежність  $\varphi_t = f(t)$ .

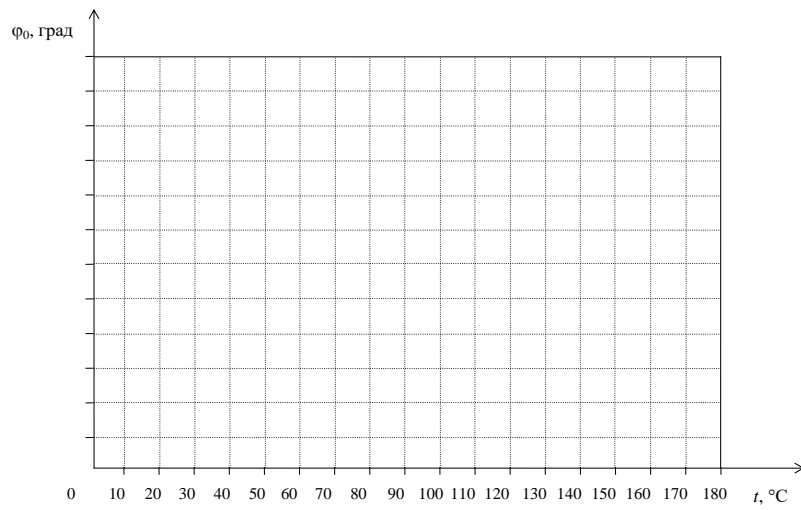


Рисунок 6 – Градувальна залежність  $\varphi_0 = f(t)$ .

## 5. ЧИСЕЛЬНИЙ ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТВП ДЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ТОЧКИ $t = 30\text{ }^\circ\text{C}$

### Варіант 1

1. Використовуючи таблицю вхідних даних (див. таблицю 1), вибираємо робочу точку:

$$x = x_0 = 3,5.$$

2. Розрахуємо частоту  $f_1$  (при  $t_{\Pi} = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ), за формулою (3):

$$f_1 = \frac{x_0^2 \rho_{\Pi}}{\pi d^2 \mu_0} = \frac{3,5^2 \cdot 5,8 \cdot 10^{-8}}{3,14 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} (0,5 \cdot 10^{-3})^2} = 720617 \text{ [Гц]}.$$

3. Визначимо ЕРС  $E_0$  (ТВП без виробу) за формулою (4):

$$\begin{aligned} E_0 &= 4,44 f_1 W_u h_{\kappa} d_{\kappa} \mu_0 H_0 = \\ &= 4,44 \cdot 720617 \cdot 600 \cdot 12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 150 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} = 1,519 \text{ [В]}. \end{aligned}$$

4. Розрахуємо чисельне значення намагнічувального струму  $I_{\text{н}}$ :

$$I_{\text{н}} = \frac{H_0 I_{\text{н}}}{\sqrt{2} W_1} = \frac{150 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{1,414 \cdot 280} = 19 \cdot 10^{-3} \text{ [А]}.$$

5. Задаючись дискретними значеннями температур в діапазоні від  $20$  до  $120\text{ }^\circ\text{C}$  (через кожні  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ), знаходимо питомий електричний опір  $\rho_t$ , наприклад, для  $t = 30\text{ }^\circ\text{C}$ , маємо:

$$\begin{aligned} \rho_{30^\circ\text{C}} &= \rho_1 + \frac{\rho_1 \alpha}{1 + \alpha t_1} (t - t_1) = 5,8 \cdot 10^{-8} + \frac{5,8 \cdot 10^{-8} \cdot 4,2 \cdot 10^{-3}}{1 + 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20} (30 - 20) = \\ &= 6,025 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$

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

$$x_{30^\circ\text{C}} = d \sqrt{\frac{\pi \mu_0 f_1}{\rho_{30^\circ\text{C}}}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{3,14 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 720,617 \cdot 10^3}{6,025 \cdot 10^{-8}}} = 3,434.$$

7. Визначимо питому нормовану ЕРС  $k_t$ , виникнення якої обумовлено проходженням магнітного потоку безпосередньо у самому виробі та фазовий кут зсуву  $\varphi_t$ , використовуючи табличні залежності  $k_t = f(x_t)$  і  $\varphi_t = f(x_t)$  (див. додаток А.1), а також лінійну інтерполяцію (вирази (8) і (9)):

$$k_t = \frac{(x_2 - x_t)}{(x_2 - x_1)}(k_1 - k_2) + k_2 =$$

$$= \frac{(3,44 - 3,434)}{(3,44 - 3,42)}(0,213267540 - 0,211862908) + 0,211862908 = 0,212283.$$

$$\varphi_t = \frac{(x_t - x_1)}{(x_2 - x_1)}(\varphi_2 - \varphi_1) + \varphi_1 = \frac{(3,43402 - 3,42)}{(3,44 - 3,42)}(45,52405 - 45,4994) + 45,4994 = 45,516673.$$

8. Далі необхідно знайти коефіцієнт заповнення  $\eta$ , за формулою (10)

$$\eta = \frac{hd}{h_k d_k} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}} = \frac{2,5}{4,2} = 0,595.$$

9. Визначимо ЕРС  $E_{2t}$ , за формулою:

$$E_{2t} = k_t E_0 \eta = 0,2122828834 \cdot 1,519 \cdot 0,595 = 0,192 \text{ В.}$$

10. Розрахуємо ЕРС  $E_1$ , за формулою (12)

$$E_1 = E_0 (1 - \eta) = 1,519 \cdot (1 - 0,595) = 0,615 \text{ [В].}$$

11. Знаходимо ЕРС  $E_{\Sigma t}$ , за формулою (13):

$$E_{\Sigma t} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos \varphi} =$$

$$= \sqrt{(0,192 \cdot 10^{-3})^2 + (0,615 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 0,192 \cdot 10^{-3} \cdot 0,615 \cdot 10^{-3} \cos 45,51667} =$$

$$= 0,789 \cdot 10^{-3} \text{ [В].}$$

За формулами (14) і (15) отримаємо чисельне значення фазового кута зсуву  $\varphi_0$ :

$$|\operatorname{tg} \varphi_0| = \frac{E_2 \sin \varphi}{E_2 \cos \varphi + E_1} = \frac{0,192 \cdot 10^{-3} \sin 45,516673}{0,192 \cdot 10^{-3} \cos 45,516673 + 0,615} =$$

$$= 0,182757 ,$$

$$\text{звідки } |\varphi_0| = \operatorname{arctg} \frac{E_2 \sin \varphi}{E_2 \cos \varphi + E_1} = 10,356907$$

12. За результатами розрахунків електричних параметрів ТВП в діапазоні температур від 20 до 120 °С, побудуємо градувальні залежності  $E_{\Sigma t} = f(t)$ ,  $E_2 = f(t)$ ,  $\varphi_t = f(t)$  і  $\varphi_0 = f(t)$ .

## 7. ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Загальний об'єм 10–15 с. Текст має бути написано розбірливим почерком або креслярським шрифтом згідно СТП НТУ «ХПІ» 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 теплового ТВП: ЕРС  $E_{\Sigma t}$ ,  $E_{2t}$ ,  $E_1$ ,  $E_0$  та фазових кутів зсуву  $\varphi_t$  і  $\varphi_0$ . Таблицю результатів розрахунків прямої задачі для теплового ТВП з плоским зразком, що нагрівається у процесі контролю, градувальні залежності  $E_{\Sigma t} = f(t)$ ,  $E_2 = f(t)$  і  $\varphi_0 = f(t)$ ,  $\varphi = f(t)$ , при реалізації вихорострумowego методу сумісного вимірювального НК електричних та температурних параметрів немагнітних плоских деталей та виробів обладнання машинобудування.

## Контрольні запитання

1. Які основні переваги вихорострумів методів неруйнівного контролю (НК) виробів, вузлів і конструкцій обладнання машинобудування?
2. Неруйнівний контроль та технічна діагностика на машинобудівному підприємстві.
3. Яким чином здійснюється вибір робочої точки на функціях перетворення ТВП  $k_t = f(x_t)$  та  $\varphi_t = f(x_t)$ ?
5. Фізична сутність параметрів  $k$  і  $\varphi$ ?
6. На яких фізичних явищах засновано вихорострумів методи (НК)?
7. Які сигнали ТВП при реалізації амплітудного і фазового вихорострумів методів є інформативними?
8. У чому полягає робота схеми для контролю електричних та температурних параметрів немагнітних виробів?
9. Які методи придатні для застосування у якості контрольних методів визначення електричних та температурних параметрів плоских виробів?
10. Яким чином, за допомогою вихорострумів перетворювача можна визначити миттєві значення температурних параметрів плоских виробів?
11. Чим обумовлено здійснення сумісного вихорострумів вимірювального контролю багатьох параметрів плоских виробів у порівнянні з селективними методами контролю?
12. Як впливають механічні дефекти плоских виробів на результати вимірювань електромагнітних параметрів і температури плоских виробів?
13. Як впливають зміщення та перекося зразка у середині ТВП на результати вимірювань?
14. Який вплив геометричних характеристик виробу та перетворювача на результати вимірювань електричних та температурних параметрів?
15. Яку математичну модель було розглянуто під час виконання розрахункового завдання?
16. Як змінюється частота магнітного поля при підвищенні температури плоского виробу?

## Список літератури

1. Лазарєв М.І., Шматков Д.І. Неруйнуючий контроль технічних об'єктів у схемах. Навчальний посібник. // М.І. Лазарєв, Д.І. Шматков. – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2012. – 160 с.
2. Білокур І.П. Елементи дефектології при вивченні неруйнуючого контролю. Навчальний посібник. // І.П. Білокур – К.: НМК ВО, 1990. – 252 с.
3. Білокур І.П. Дефектология и неразрушающий контроль. Навчальний посібник. // І.П. Білокур – К.: НМК ВО, 1990. – 252 с.
4. Термінологічний словник з неруйнуючого контролю: довідковий посібник / Білокур І.П., Боровіков О.С., Лубяний В.В. та ін. – К.: ІСДО, 1995. – 228 с.
5. Себко В.П. Индуктивный преобразователь для многопараметровых, бесконтактных измерений // В.П. Себко. – В сб. Локальные автоматизированные системы автоматики и вычислительной техники – К.: Наукова думка, 1983. – С. 103–109.
6. Себко В.П., Себко В.В. Бабенко В.Н. Повышение точности измерений и достоверности контроля параметров ферромагнитных плоских изделий при реализации многопараметрового метода на базе теплового дифференциального устройства // В.П. Себко, В.В. Себко, В.Н. Бабенко. – Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ", 2012 – №42. – С. 239 – 245.
7. Себко В.В., Здоренко В.Г. Вимірювальний контроль температури плоских виробів на основі реалізації методу визначення компонентів різницевого сигналу багатопараметрового перетворювача устройства // В.В. Себко, В.Г. Здоренко. – Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – Київ: КНУТД, 2017. – №4 (112) . – С. 33 – 41.
8. Левшина Е.С. Электрические измерения физических величин / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Залежності амплітуди і фази сигналу ТВП від узагальненого параметру  $x_t$  (проникнення магнітного поля ТВП з двох сторін плаского виробу)

х	К	φ, град.
0,78	0,677404884	19,441026585
0,80	0,670701306	19,863198733
0,82	0,664066894	20,281563565
0,84	0,657501048	20,696122365
0,86	0,651003174	21,106876513
0,88	0,644572686	21,513827493
0,90	0,638209001	21,916976894
0,92	0,631911544	22,316326416
0,94	0,625679742	22,711877878
0,96	0,619513031	23,103633216
0,98	0,613410851	23,491594495
1,00	0,607372646	23,875763912
1,02	0,601397867	24,256143800
1,04	0,595485967	24,632736636
1,06	0,589636408	25,005545042
1,08	0,583848653	25,374571797
1,10	0,578122172	25,739819836
1,12	0,572456437	26,101292262
1,14	0,566850927	26,458992346
1,16	0,561305125	26,812923537
1,18	0,555818516	27,163089467
1,20	0,550390593	27,509493955
1,22	0,545020849	27,852141014
1,24	0,539708784	28,191034859
1,26	0,534453900	28,526179912
1,28	0,529255705	28,857580806
1,30	0,524113709	29,185242393
1,32	0,519027426	29,509169752
1,34	0,513996374	29,829368192
1,36	0,509020076	30,145843261
1,38	0,504098055	30,458600747
1,40	0,499229840	30,767646694
1,42	0,494414964	31,072987398
1,44	0,489652962	31,374629419
1,46	0,484943372	31,672579587
1,48	0,480285736	31,966845005
1,50	0,475679599	32,257433061
1,52	0,471124508	32,544351427



х	К	φ, град.
1,54	0,466620016	32,827608070
1,56	0,462165675	33,107211257
1,58	0,457761044	33,383169562
1,60	0,453405682	33,655491869
1,62	0,449099152	33,924187380
1,64	0,444841019	34,189265622
1,66	0,440630852	34,450736450
1,68	0,436468221	34,708610053
1,70	0,432352702	34,962896963
1,72	0,428283869	35,213608057
1,74	0,424261302	35,460754562
1,76	0,420284583	35,704348062
1,78	0,416353296	35,944400502
1,80	0,412467026	36,180924195
1,82	0,408625364	36,413931823
1,84	0,404827900	36,643436443
1,86	0,401074229	36,869451495
1,88	0,397363946	37,091990800
1,90	0,393696651	37,311068568
1,92	0,390071942	37,526699400
1,94	0,386489425	37,738898295
1,96	0,382948703	37,947680647
1,98	0,379449385	38,153062254
2,00	0,375991080	38,355059319
2,02	0,372573400	38,553688451
2,04	0,369195958	38,748966668
2,06	0,365858371	38,940911402
2,08	0,362560257	39,129540496
2,10	0,359301236	39,314872210
2,12	0,356080931	39,496925218
2,14	0,352898965	39,675718613
2,16	0,349754964	39,851271904
2,18	0,346648558	40,023605019
2,20	0,343579376	40,192738303
2,22	0,340547051	40,358692519
2,24	0,337551216	40,521488846
2,26	0,334591508	40,681148881
2,28	0,331667565	40,837694631
2,30	0,328779027	40,991148520
2,32	0,325925536	41,141533377
2,34	0,323106734	41,288872445
2,36	0,320322269	41,433189366

х	К	φ, град.
2,38	0,317571787	41,574508186
2,40	0,314854939	41,712853351
2,42	0,312171374	41,848249697
2,44	0,309520746	41,980722453
2,46	0,306902711	42,110297230
2,48	0,304316924	42,237000019
2,50	0,301763045	42,360857187
2,52	0,299240734	42,481895467
2,54	0,296749653	42,600141955
2,56	0,294289467	42,715624102
2,58	0,291859841	42,828369705
2,60	0,289460444	42,938406904
2,62	0,287090944	43,045764172
2,64	0,284751014	43,150470304
2,66	0,282440327	43,252554414
2,68	0,280158558	43,352045920
2,70	0,277905384	43,448974542
2,72	0,275680483	43,543370285
2,74	0,273483538	43,635263434
2,76	0,271314230	43,724684541
2,78	0,269172244	43,811664419
2,80	0,267057266	43,896234124
2,82	0,264968984	43,978424951
2,84	0,262907089	44,058268417
2,86	0,260871273	44,135796252
2,88	0,258861229	44,211040390
2,90	0,256876653	44,284032949
2,92	0,254917244	44,354806228
2,94	0,252982701	44,423392685
2,96	0,251072725	44,489824932
2,98	0,249187020	44,554135718
3,00	0,247325292	44,616357916
3,02	0,245487248	44,676524512
3,04	0,243672598	44,734668588
3,06	0,241881053	44,790823312
3,08	0,240112326	44,845021921
3,10	0,238366134	44,897297709
3,12	0,236642193	44,947684015
3,14	0,234940224	44,996214205
3,16	0,233259948	45,042921661
3,18	0,231601088	45,087839764
3,20	0,229963370	45,131001886

х	К	φ, град.
3,22	0,228346523	45,172441369
3,24	0,226750276	45,212191516
3,26	0,225174361	45,250285573
3,28	0,223618512	45,286756721
3,30	0,222082465	45,321638057
3,32	0,220565959	45,354962581
3,34	0,219068735	45,386763185
3,36	0,217590535	45,417072638
3,38	0,216131104	45,445923574
3,40	0,214690190	45,473348476
3,42	0,213267540	45,499379666
3,44	0,211862908	45,524049291
3,46	0,210476046	45,547389313
3,48	0,209106711	45,569431490
3,50	0,207754660	45,590207374
3,52	0,206419654	45,609748289
3,54	0,205101455	45,628085326
3,56	0,203799829	45,645249331
3,58	0,202514542	45,661270892
3,60	0,201245365	45,676180330
3,62	0,199992068	45,690007686
3,64	0,198754425	45,702782715
3,66	0,197532213	45,714534873
3,68	0,196325210	45,725293310
3,70	0,195133198	45,735086858
3,72	0,193955959	45,743944026
3,74	0,192793278	45,751892988
3,76	0,191644943	45,758961577
3,78	0,190510745	45,765177278
3,80	0,189390476	45,770567218
3,82	0,188283930	45,775158163
3,84	0,187190904	45,778976508
3,86	0,186111198	45,782048272
3,88	0,185044613	45,784399093
3,90	0,183990953	45,786054223
3,92	0,182950025	45,787038519
3,94	0,181921636	45,787376445
3,96	0,180905598	45,787092061
3,98	0,179901724	45,786209026
4,00	0,178909829	45,784750586
4,02	0,177929731	45,782739578
4,04	0,176961250	45,780198427

x	K	φ, град.
4,06	0,176004208	45,777149137
4,08	0,175058430	45,773613296
4,10	0,174123743	45,769612072
4,12	0,173199975	45,765166210
4,14	0,172286958	45,760296032
4,16	0,171384526	45,755021439
4,18	0,170492515	45,749361905
4,20	0,169610762	45,743336482
4,22	0,168739108	45,736963800
4,24	0,167877395	45,730262063
4,26	0,167025468	45,723249055
4,28	0,166183174	45,715942139
4,30	0,165350361	45,708358260
4,32	0,164526882	45,700513943
4,34	0,163712589	45,692425299
4,36	0,162907338	45,684108027
4,38	0,162110987	45,675577413
4,40	0,161323394	45,666848337
4,42	0,160544422	45,657935274
4,44	0,159773935	45,648852297
4,46	0,159011798	45,639613082
4,48	0,158257880	45,630230909
4,50	0,157512051	45,620718670
4,52	0,156774182	45,611088868
4,54	0,156044147	45,601353624
4,56	0,155321822	45,591524684
4,58	0,154607086	45,581613418
4,60	0,153899818	45,571630828
4,62	0,153199900	45,561587554
4,64	0,152507215	45,551493874
4,66	0,151821649	45,541359715
4,68	0,151143089	45,531194656
4,70	0,150471425	45,521007931
4,72	0,149806547	45,510808437
4,74	0,149148349	45,500604739
4,76	0,148496725	45,490405077
4,78	0,147851572	45,480217367
4,80	0,147212787	45,470049213
4,82	0,146580271	45,459907907
4,84	0,145953924	45,449800439
4,86	0,145333652	45,439733502
4,88	0,144719357	45,429713494

х	К	φ, град.
4,90	0,144110948	45,419746531
4,92	0,143508331	45,409838447
4,94	0,142911418	45,399994803
4,96	0,142320118	45,390220891
4,98	0,141734346	45,380521743
5,00	0,141154015	45,370902133
5,02	0,140579042	45,361366586
5,04	0,140009344	45,351919384
5,06	0,139444840	45,342564568
5,08	0,138885450	45,333305951
5,10	0,138331096	45,324147117
5,12	0,137781702	45,315091430
5,14	0,137237192	45,306142040
5,16	0,136697492	45,297301888
5,18	0,136162529	45,288573711
5,20	0,135632233	45,279960052
5,22	0,135106533	45,271463259
5,24	0,134585360	45,263085494
5,26	0,134068647	45,254828741
5,28	0,133556327	45,246694806
5,30	0,133048337	45,238685327
5,32	0,132544612	45,230801778
5,34	0,132045088	45,223045472
5,36	0,131549707	45,215417570
5,38	0,131058405	45,207919082
5,40	0,130571126	45,200550878
5,42	0,130087810	45,193313684
5,44	0,129608400	45,186208097
5,46	0,129132842	45,179234582
5,48	0,128661080	45,172393480
5,50	0,128193059	45,165685014
5,52	0,127728729	45,159109289
5,54	0,127268036	45,152666302
5,56	0,126810930	45,146355941
5,58	0,126357362	45,140177995
5,60	0,125907281	45,134132153
5,62	0,125460642	45,128218012
5,64	0,125017395	45,122435077
5,66	0,124577496	45,116782770
5,68	0,124140899	45,111260430
5,70	0,123707560	45,105867318
5,72	0,123277435	45,100602622

х	К	φ, град.
5,74	0,122850481	45,095465456
5,76	0,122426657	45,090454871
5,78	0,122005922	45,085569853
5,80	0,121588234	45,080809325
5,82	0,121173555	45,076172158
5,84	0,120761846	45,071657164
5,86	0,120353069	45,067263108
5,88	0,119947186	45,062988705
5,90	0,119544162	45,058832628
5,92	0,119143958	45,054793504
5,94	0,118746542	45,050869925
5,96	0,118351878	45,047060444
5,98	0,117959931	45,043363581
6,00	0,117570670	45,039777824
6,02	0,117184061	45,036301635
6,04	0,116800072	45,032933446
6,06	0,116418671	45,029671666
6,08	0,116039828	45,026514685
6,10	0,115663513	45,023460868
6,12	0,115289695	45,020508568
6,14	0,114918346	45,017656119
6,16	0,114549437	45,014901841
6,18	0,114182940	45,012244046
6,20	0,113818827	45,009681033
6,22	0,113457072	45,007211093
6,24	0,113097646	45,004832512
6,26	0,112740526	45,002543570
6,28	0,112385684	45,000342545
6,30	0,112033095	44,998227713
6,32	0,111682736	44,996197349
6,34	0,111334582	44,994249730
6,36	0,110988608	44,992383134
6,38	0,110644792	44,990595845
6,40	0,110303110	44,988886150
6,42	0,109963540	44,987252344
6,44	0,109626060	44,985692727
6,46	0,109290647	44,984205611
6,48	0,108957281	44,982789313
6,50	0,108625941	44,981442163
6,52	0,108296605	44,980162501
6,54	0,107969254	44,978948681
6,56	0,107643867	44,977799068

х	К	φ, град.
6,58	0,107320425	44,976712041
6,60	0,106998908	44,975685995
6,62	0,106679298	44,974719339
6,64	0,106361575	44,973810497
6,66	0,106045722	44,972957911
6,68	0,105731721	44,972160041
6,70	0,105419553	44,971415361
6,72	0,105109201	44,970722367
6,74	0,104800648	44,970079570
6,76	0,104493877	44,969485504
6,78	0,104188872	44,968938720
6,80	0,103885616	44,968437788
6,82	0,103584093	44,967981300
6,84	0,103284286	44,967567868
6,86	0,102986182	44,967196125
6,88	0,102689763	44,966864724
6,90	0,102395015	44,966572341
6,92	0,102101924	44,966317671
6,94	0,101810474	44,966099433
6,96	0,101520650	44,965916367
6,98	0,101232440	44,965767234
7,00	0,100945828	44,965650819
7,02	0,100660800	44,965565928
7,04	0,100377344	44,965511388
7,06	0,100095446	44,965486050
7,08	0,099815093	44,965488788
7,10	0,099536270	44,965518495
7,12	0,099258967	44,965574090
7,14	0,098983169	44,965654512
7,16	0,098708865	44,965758723
7,18	0,098436041	44,965885707
7,20	0,098164687	44,966034469
7,22	0,097894790	44,966204039
7,24	0,097626337	44,966393465
7,26	0,097359318	44,966601820
7,28	0,097093721	44,966828196
7,30	0,096829535	44,967071709
7,32	0,096566747	44,967331495
7,34	0,096305348	44,967606711
7,36	0,096045326	44,967896535
7,38	0,095786670	44,968200167
7,40	0,095529370	44,968516826

x	K	φ, град.
7,42	0,095273415	44,968845753
7,44	0,095018795	44,969186208
7,46	0,094765500	44,969537472
7,48	0,094513518	44,969898845
7,50	0,094262841	44,970269646
7,52	0,094013459	44,970649216
7,54	0,093765361	44,971036912
7,56	0,093518538	44,971432111
7,58	0,093272980	44,971834209
7,60	0,093028678	44,972242620
7,62	0,092785622	44,972656777
7,64	0,092543804	44,973076128
7,66	0,092303213	44,973500141
7,68	0,092063842	44,973928302
7,70	0,091825681	44,974360111
7,72	0,091588721	44,974795087
7,74	0,091352953	44,975232764
7,76	0,091118369	44,975672694
7,78	0,090884961	44,976114444
7,80	0,090652719	44,976557595
7,82	0,090421635	44,977001745
7,84	0,090191702	44,977446507
7,86	0,089962910	44,977891509
7,88	0,089735252	44,978336391
7,90	0,089508720	44,978780811
7,92	0,089283306	44,979224437
7,94	0,089059001	44,979666954
7,96	0,088835798	44,980108057
7,98	0,088613689	44,980547458
8,00	0,088392667	44,980984877



## Навчальне видання

Методичні вказівки до практичних занять «Контроль електричних параметрів і температури деталей обладнання машин та апаратів переробних і хімічних виробництв» з дисципліни «Методи дослідження стану машин та апаратів, діагностика і моніторинг технічного стану» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізацій: «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів», «Обладнання переробних і харчових виробництв» денної та заочної форм навчання

Укладачі:

СЕБКО Вадим Вадимович

БАБЕНКО Володимир Миколайович

ГОРБУНОВА Ольга Володимирівна

ЗАБІЯКА Наталія Сергійовна

Відповідальний за випуск проф. Шапорев В.П.

Роботу рекомендувала до видання проф. Зінченко М. Г.

Редактор Л. А. Пустовойтова

План 2019 р., п.

Підп. до друку \_\_ 2019 р. Формат 60×84 1/16. Папір офісний. RISO-друк.  
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 2,1. Обл. – вид. арк. 2,5. Наклад 40 прим.

Зам. № \_\_\_\_. Ціна договірنا

---

Видавничий центр НТУ «ХП»

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Друкарня НТУ «ХП» 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2