

УДК 620.179.14

СЕБКО В.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Київський національний університет технологій та дизайну

ЗДОРЕНКО В.Г.

## МЕТОД НЕРУЙНЛИВОГО КОНТРОЛЮ ЗРАЗКА ВОДНОГО РОЗЧИНУ АДІПІНОВОЇ КИСЛОТИ

**Мета.** Розробка методу неруйнівного технологічного контролю електричних та температурних параметрів немагнітних розчинів хімічних речовин, зокрема, адипінової кислоти, за допомогою контактного вихорострумовевого перетворювача (КВП).

**Методика.** Використана методика визначення залежності нормованого сигналу КВП від фізико-механічних параметрів проби адипінової кислоти.

**Результати.** Проведені теоретичні дослідження показали можливість визначення параметрів розчинів немагнітних хімічних речовин за допомогою КВП. Отримані теоретичні залежності, які зв'язують електричні параметри КВП з температурними та технологічними параметрами немагнітних хімічних розчинів, зокрема адипінової кислоти. Результати проведених експериментальних досліджень підтвердили можливість та доцільність застосування КВП для контролю параметрів немагнітних хімічних речовин.

**Наукова новизна.** Теоретично обґрунтована можливість застосування КВП для неруйнівного технологічного контролю параметрів водних розчинів немагнітних хімічних речовин, отримані універсальні функції перетворення.

**Практична значимість.** Запропонована методика контролю характеристик зразків кислот та їх розчинів, дозволяє здійснювати оцінювання метрологічних характеристик перетворювачів, роботу яких засновано на зондуванні зразків поперечним магнітним полем, тобто оцінювати частотний діапазон, діапазони зміни сигналів КВП, які відповідають діапазонам зміни електричних та температурних характеристик виробів, матеріалів та середовищ, що контролюються.

**Ключові слова:** контактний вихорострумове перетворювач, неруйнівний контроль, електричні та температурні параметри, адипінова кислота

**Вступ.** Кислоти є одними з найважливіших речовин у сучасній хімічній та харчовій промисловості. У більшості випадків харчові кислоти (оцтова, лимонна, бензойна, винна, щавлева) використовують як консерванти — речовини, які сповільнюють псування харчових продуктів. У важливих технологічних процесах виробництва продуктів харчової та хімічної промисловості особливе місце займають карбонові кислоти [1, 2].

Наприклад, використання адипінової кислоти є необхідним у таких процесах, як виробництво полігексаметиленадипинаміда, а також поліуретанів та ефірів, розчини адипінової кислоти використовуються як харчові добавки для надання продуктам кислого смаку (у тому числі при виробництві безалкогольних напоїв Е 355), їх застосовують під час створення миючих препаратів, при виготовленні рідини для видалення накипу, концентрована адипінова кислота застосовується для видалення матеріалу, який залишився після заповнення швів між керамічними плитами та у багатьох інших випадках. Адипінова кислота має здатність захищати продукти харчування від псування, а також процесів окислення [1,2]. Слід визначити, що при використанні розчинів цієї речовини у

різноманітних технологічних процесах, необхідна інформація стосовно електричних і температурних характеристик розчинів, які є важливими технологічними параметрами.

Таким чином, коло рішення майбутніх завдань суттєво розширюється та ускладнюється, створюючи важливу наукову та практичну проблему, яку пов'язано зі створенням контактних вихорострумів методів та пристроїв сумісного контролю електричних та температурних параметрів зразків кислот та їх розчинів, які зондуються поперечним магнітним полем контактних вихорострумів перетворювачів (КВП). Розробка та застосування цих методів та пристроїв дозволить підвищити точність вимірювання та вірогідність контролю цих параметрів.

**Аналіз останніх публікацій по проблемі.** На сьогодні відомі наукові роботи [3 - 10], у яких було описано теоретичні основи роботи контактного вихорострумів перетворювача (КВП) для контролю фізико-хімічних параметрів суцільних циліндричних і трубчастих металевих виробів, а також магнітних рідин і немагнітних газових середовищ. При цьому, циліндричний стрижень, по якому проходить повздовжній електричний струм і є контактним вихорострумів перетворювачем, тобто КВП [3-8]. Суть роботи, КВП у загальному випадку полягає у тому, що при використанні відомих схем включення [3-8], визначають напругу на стрижні і фазовий кут між електричним струмом і цією ж напругою. Таким чином, пов'язане з варіацією частоти поля, змінення магнітного потоку в виробі, у свою чергу, призводить до змінення внутрішньої індуктивності стрижня  $L_i$ , а також його повного електричного опору  $R$  [3-8]. Слід визначити, що параметри  $L_i$  та  $R$  об'єкту, що контролюється, залежать від питомого електричного опору  $\rho$ , геометричних параметрів (радіусу, довжини), а також від температури  $t$  немагнітного стрижня. На теперішній час практично не було розроблено теоретичні основи роботи теплових КВП для контролю параметрів немагнітних хімічних речовин (перш за все, кислот), що не дозволяло застосовувати такі перетворювачі при проведенні технологічного контролю параметрів таких речовин.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка методу неруйнівного технологічного контролю електричних та температурних параметрів немагнітних розчинів хімічних речовин, зокрема, адипінової кислоти, за допомогою контактного вихорострумів перетворювача (КВП).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Отримати універсальні функції перетворення на основі яких розробити метод неруйнівного вимірювального контролю питомого електричного опору  $\rho_t$  і температури  $t$  10% розчину адипінової кислоти.

2. Дослідити теоретичні положення роботи КВП зі зразком розчину немагнітної хімічної речовини (зокрема, адипінової кислоти).

3. Провести експериментальні дослідження для підтвердження теоретичних результатів.

**Результати дослідження.** В роботах [4, 5] було отримано універсальні функції перетворення  $R_n = f(x)$  і  $L_n = f(x)$  для КВП, за допомогою якого здійснювався контроль суцільних циліндричних стрижнів. В даній роботі було отримано експериментальні залежності  $R_{nt} = f(x_t)$  та  $L_{nt} = f(x_t)$  теплового вихорострумів перетворювача КВП зі зразком розчину

адипінової кислоти, які наведено на рис. 1, 2. При цьому залежність на рис.1 має спадний вигляд, тому температурні точки на цієї залежності розташовані від кінця до початку залежності. Залежність на рис.2 має зростаючий вигляд і температурні точки відповідають значенням температур  $t = 15^{\circ}; 20^{\circ}; 40^{\circ}; 60^{\circ}; 70^{\circ}$  С, які розташовані від початку до кінця залежності.

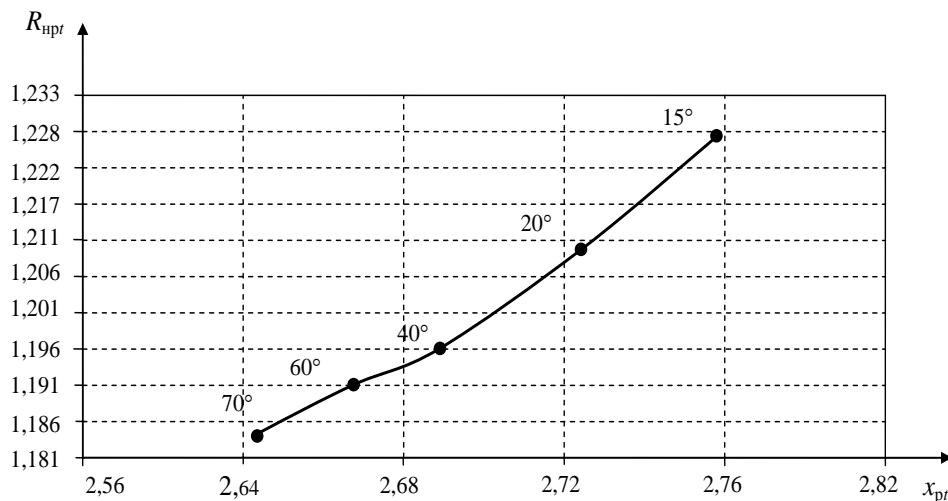


Рис. 1. Залежність  $R_{нрг}$  від  $x_{рг}$  теплового КВП зі зразком розчину адипінової кислоти

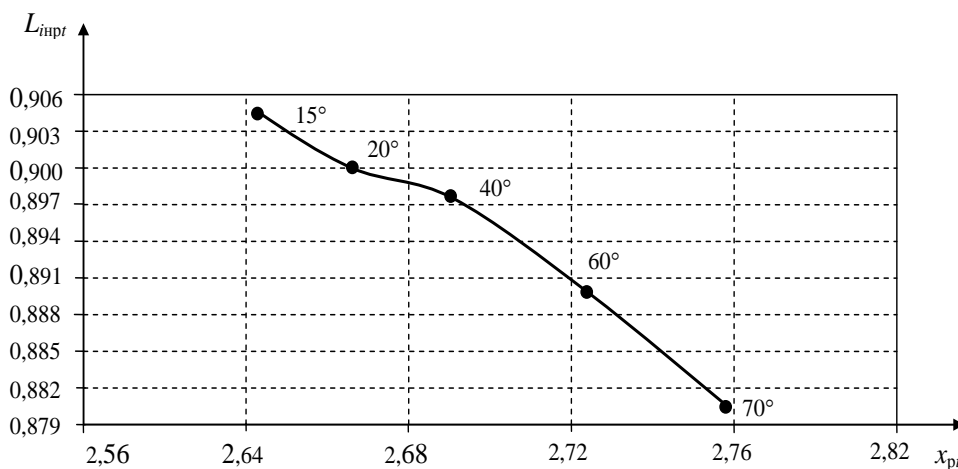


Рис. 2. Залежність  $L_{нрг}$  від  $x_{рг}$  теплового КВП зі зразком розчину адипінової кислоти

На рис. 3 надано функціональну схему включення КВП, на основі якої здійснюється контроль зразка розчину адипінової кислоти. У даному випадку скляна трубка, в якій знаходиться зразок адипінової кислоти і через яку пропускається поздовжній струм, представляє собою контактний вихорострумний перетворювач, тобто КВП. Схема включає: О – осцилограф, ДСН – джерело синусоїдальної напруги, ВЧ – вимірювач частоти, НП – нагрівальний пристрій, КВП – тепловий вихорострумний контактний перетворювач,  $R_3$  – зразковий опір,  $V_1$  і  $V_2$  – вольтметри, С – самописець, ВФ – вимірювач фазового зсуву.

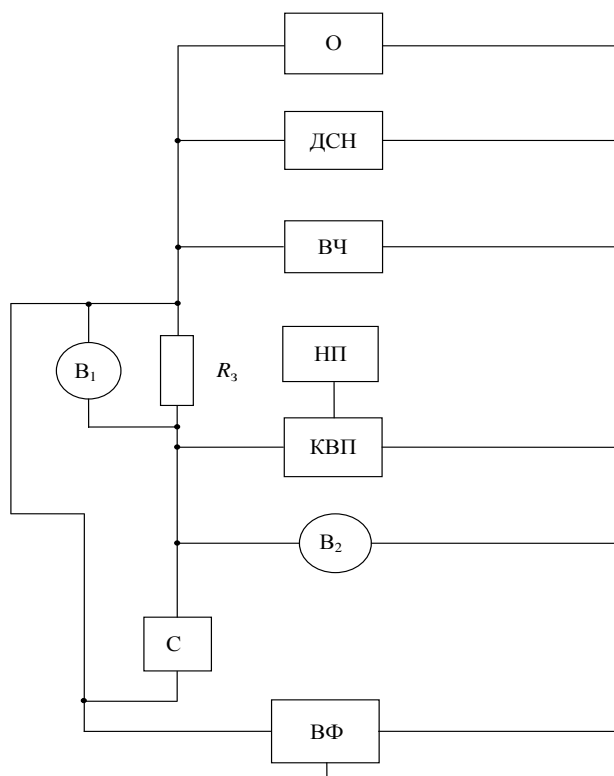


Рис. 3. Схема включення теплового КВП з досліджуваним зразком

Таким чином, з урахуванням результатів досліджень [4, 5], за допомогою схеми на рис. 3 вимірюється струм  $I_p$ , напруга  $U_{pi}$ , а також фазовий кут  $\varphi$  між током і цією напругою, а також визначається сумарна індуктивність зразка  $L_{\Sigma p}$

$$L_{\Sigma p} = \frac{U_p}{\omega I_p} \sin \varphi. \quad (2)$$

Після цього за допомогою, наприклад, моста постійного струму [4, 5], потрібно знайти опір  $R_{0pr}$  розчину. Потім потрібно визначити нормований опір  $R_{npr}$ , використовуючи формулу [4 - 8]

$$R_{npr} = \frac{R_{pr}}{R_{p0}}. \quad (3)$$

Далі користуючись залежностями на рис. 1, потрібно визначити узагальнений параметр  $x_{pr}$ . А знаючи  $x_{pr}$  і використавши залежність на рис. 2, можна знайти нормовану внутрішню індуктивність  $L_{inpr}$  розчину адипінової кислоти з виразу [4 - 8]

$$L_{ipr} = \frac{\mu_0 l}{8\pi} L_{in}. \quad (4)$$

Далі, визначивши сумарну індуктивність розчину  $L_{\Sigma pr}$ , знайдемо зовнішню індуктивність

$$L_{i pr} = L_{\Sigma pr} - L_{ipr}. \quad (5)$$

Після цього отримуємо вираз для визначення питомого електричного опору розчину адипінової кислоти

$$\rho_t = \frac{\pi d^2 \cdot L_{ipp} \cdot \mu_0 \cdot f_t \cdot 8\pi}{\mu_0 \cdot l \cdot L_{инрт}(x_{pt}) \cdot 2x_{pt}^2}, \quad (6)$$

де  $d$  – діаметр скляної трубки;

$l$  – довжина трубки;

$f_t$  – частота теплового КВП;

$x_{pt}$  – узагальнений магнітний параметр, який пов’язує сигнали теплового КВП з електричними і температурними параметрами зразка.

Тоді температуру зразка, що контролюється, знаходимо за формулою

$$t = \frac{1 + \alpha_\rho t_1}{\alpha_\rho} \left( \frac{\pi d^2 \cdot f_t \cdot \mu_0}{2x_{pt}^2 (R_{нт}) \cdot \rho_1} - 1 \right) + t_1, \quad (7)$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору;

$t_1$  – початкова температура.

В табл.1 наведено отримані експериментальні залежності електричних параметрів зразка розчину адипінової кислоти  $R_{рн}$  та  $L_{рн}$  від узагальненого параметра  $x_p$ , а також результати вимірювального контролю електричних та температурних параметрів досліджуваного зразка, що корелюють один з одним (під час зростання температурного параметра, електричний параметр також зростає).

Таблиця 1.

**Результати досліджень зразка адипінової кислоти тепловим КВП**

$\rho_t \cdot 10^{-2} (Ом \cdot м)$	$x_p$	$R_{рн}$	$L_{рн}$	$T, (K)$
0,208	2,54	1,185	0,909	285
0,213	2,56	1,191	0,906	288
0,220	2,58	1,196	0,904	293
0,224	2,60	1,201	0,901	298
0,232	2,62	1,206	0,899	303
0,237	2,64	1,211	0,896	308
0,240	2,66	1,217	0,893	313
0,245	2,68	1,222	0,891	318
0,251	2,70	1,228	0,888	323
0,258	2,72	1,233	0,885	328
0,262	2,74	1,239	0,883	333
0,267	2,82	1,262	0,872	338

**Висновки.** Визначено основні шляхи розв’язання важливої науково-практичної проблеми, яка полягає у рішенні комплексу задач пов’язаних зі створенням контактних вихорострумів методів та пристроїв сумісного контролю електричних і температурних параметрів зразків кислот та їх розчинів, які підлягають зондуванню поперечним магнітним полем КВП. В рамках рішення цієї проблеми було досліджено розширення функціональних і

технічних можливостей теплового контактного вихорострумowego методу стосовно до вимірювального контролю параметрів зразків кислот та їх розчинів, а також визначення характеристик сигналів теплового КВП зі зразком розчину адипінової кислоти.

Перспективи подальших досліджень полягають в підвищенні точності вимірювань фізико-хімічних характеристик зразків рідинних середовищ, що контролюються, за рахунок застосування автоматизованих систем на базі первинних перетворювачів, які використовують зондування об'єктів контролю повздовжнім та поперечним магнітним полем.

### Список використаних джерел

1. Дрюк В.Г., Малиновский М.С. Курс органической химии Киев: Вища школа 1987.- 380с.
2. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. - Пер. изд.: Великобритания, 1986. - 448 с. ISBN 5-7245-0191-0 Механизмы реакций в органической химии. Сайкс П. 4-е изд. — М.: «Химия», 1991 — 448 с.
3. Себко В.П., Львов С.Г. Расчет магнитной проницаемости и удельной электрической проводимости цилиндрических изделий по сигналам контактного электромагнитного преобразователя // Технічна електродинаміка. – Київ: Ін-т електродинаміки НАНУ. - 1998. – Вип. 2, Ч. 2. – С. 171-174.
4. Себко В.В. Контактный многопараметровый вихретоковый преобразователь на основе резистивно-индуктивного метода // Наукові праці III-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2002)". – Харків. - 2002. – С. 213-217.
5. Себко В.В. Контактный электромагнитный метод определения магнитной проницаемости, удельного электрического сопротивления и температуры цилиндрического изделия // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2002. – Вып. 7. - С.152–157.
6. Себко В.В. Определение электромагнитных параметров проводящих цилиндрических изделий контактным методом с учётом текущей температуры // Український метрологічний журнал. – Харків. - 2006. – Вип. 3. – С. 24-27.
7. Себко В.В. Исследование динамических характеристик контактного рабочего преобразователя КРП // Науковий журнал "Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації". – Східно-український національний університет імені В. Даля. – Луганськ: СЛУ. – 2007.- № 2 (15). – С. 112 – 117.
8. Себко В.В. Определение параметров ферромагнитной жидкости с помощью контактного рабочего преобразователя КРП // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПИ". - 2006. Вып. 44. – С. 15-24.
9. Себко В.П., Багмет О.Л. Контактный вихретоковый преобразователь с квазипостоянным магнитным полем // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПИ". – 2009. – Вип. №27. – С. 124 – 128.
10. Себко В.В., Себко В.П. Контроль трёх параметров ферромагнитных жидкостей тепловым контактным вихретоковым преобразователем // Український метрологічний журнал. – Харків. – 2010. – Вип. №1. – С. 14 – 18.

### МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОБРАЗЦА ВОДНОГО РАСТВОРА АДИПИНОВОЙ КИСЛОТЫ

СЕБКО В.В.

*Національний технічний університет «Харьковский политехнический институт»*),

ЗДОРЕНКО В.Г.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Разработка метода неразрушающего технологического контроля электрических и температурных параметров немагнитных растворов химических веществ, в частности, адипиновой кислоты, с помощью контактного вихретокового преобразователя (КВП).

**Методика.** Использована методика определения зависимости нормированного сигнала КВП от физико-механических параметров пробы адипиновой кислоты.

**Результаты.** Проведенные теоретические исследования показали возможность определения электрических и температурных параметров растворов немагнитных химических веществ при помощи КВП. Получены теоретические зависимости, которые связывают электрические параметры КВП с температурными и технологическими параметрами немагнитных химических растворов, в частности, адипиновой кислоты. Результаты проведенных экспериментальных исследований подтвердили возможность и целесообразность применения КВП для контроля физико-механических параметров растворов немагнитных химических веществ.

**Научная новизна.** Теоретически обоснована возможность применения КВП для неразрушающего технологического контроля параметров растворов немагнитных химических веществ, получены универсальные функции преобразования.

**Практическая значимость.** Предложенная методика контроля характеристик образцов кислот и их растворов позволяет проводить оценку метрологических характеристик преобразователей, работа которых основана на зондировании образцов поперечным магнитным полем, то есть оценивать частотный диапазон, а также диапазоны изменения сигналов КВП, которые соответствуют диапазонам изменения электрических и температурных характеристик контролируемых изделий, материалов и сред.

**Ключевые слова:** *контактный вихретоковый преобразователь, неразрушающий контроль, электрические и температурные параметры, адипиновая кислота.*

## **METHOD OF NONDESTRUCTIVE CONTROL OF SAMPLE WATER SOLUTION ADIPIC ACID**

SEBKO V.V.

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,*

ZDORENKO V.G.

*Kiev National University of Technology and Design*

**Purpose.** Development of a method of nondestructive control process of electrical and temperature parameters nonmagnetic solutions of chemicals, such as adipic acid, using a contact eddy-current converter (CEC).

**Methodology.** Used method of determining the dependence of the normalized signal CEC from the physical-mechanical properties of the sample of adipic acid.

**Finding.** The theoretical studies have shown the ability to determine the electrical and thermal parameters of the non-magnetic solutions of chemicals using a hovercraft. Theoretical relationships which connect the electrical parameters CEC with temperature and process parameters nonmagnetic chemical solutions, in particular adipic acid. The results of experimental studies confirmed the possibility and feasibility of the CEC to control the physical-mechanical properties of non-magnetic solutions of chemicals.

**Originality.** Theoretically proved the possibility of CEC for nondestructive process control parameters of the non-magnetic solutions of chemicals, obtained universal conversion function.

**Practical value.** The proposed method of control characteristics of acids and sample solutions allows to evaluate the metrological characteristics of converters, which are based on the sensing of patterns transverse magnetic field, that is to assess the frequency band, as well as ranges of CEC signals that correspond to the range of variation of the electrical and thermal characteristics of the controlled product, materials and media.

**Keywords:** *contact eddy-current transducer, nondestructive testing, electrical and thermal parameters, adipic acid.*