УДК 621: 658.56

Г.В. СМІРНОВА
О.О.МАЗУРЕНКО
О.Г. МАЗУРЕНКО, доктор технічних наук
В.С. СМІРНОВ, доктор технічних наук
Національний університет харчових технологій

АЧХ-ТЕСТИ ДЛЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

Розглянуто метод контролю технологічних середовищ: електролітів, мікробних сумішей, напоїв тощо для їх стандартизації та оперативної ідентифікації. Тестування використовує амплітудно-частотні характеристики дослідних продуктів і ґрунтується на теоретичних основах електротехніки.

Ключові слова: *амплітудно-частотні характеристики, резонанс напруги, ідентифікація.*

Рассмотрен метод контроля технологических сред: электролитов, микробных смесей, напитков и др. для их стандартизации и оперативной идентификации. Тестирование использует амплитудно-частотные характеристики исследуемых продуктов и основывается на теоретических основах электротехники

Ключевые слова: *амплитудно-частотные характеристики, резонанс напряжений, идентификация.*

Харчові продукти виготовляють за технологіями, які гарантують відповідність його якісних характеристик стандарту Не відповідність — є його фальсифікацією, а в деяких випадках небезпечною для споживачів. На підприємствах та в службах державного контролю передбачається вибірковий лабораторний контроль продукту із партії (серії), що є недостатнім. Оскільки на ринках збуту присутня велика кількість продуктів різного походження, розглядаються можливості організації моніторингу їх якості, який буде доступний як споживачам, так і персоналу, що обслуговує технологічні процеси. Певні переваги для створення такого контролю має електротехнічний. Для його здійснення використовують методи, які передбачають безпосереднє вимірювання електропровідності або діелектричної проникності дослідного продукту [1, 2], але їх реалізація ускладнюється труднощами пов'язаними зі складністю апаратури контролю та нестійкістю молекулярної структури рідини. Можна вважати аксіомою, що стандартний продукт характеризується областю стандартних електропровідностей (χ) та діелектричних проникностей (ε) — 1, а не стандартний — областю їх не стандартних значень — 2. Області представляють n-вимірний простір електротехнічних характеристик, який однозначно характеризує вид рідинного продукту (РП). В цьому випадку об'єкт контролю є відображенням у цьому просторі параметрів. Електротехнічна стандартизації РП прийнятна якщо області 1 та 2 не співпадають, не перехрещуються, а засоби вимірювання електричних параметрів здатні їх розрізнити.

© Г.В. Смірнова,О.О Мазуренко, О.Г. Мазуренко, В.С. Смірнов, 2009

Мета роботи: дослідити кінцеву множину амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) РП с заданими фізико-хімічними характеристиками та виявити пріоритетні показники для її ідентифікації та стандартизації.

Апробацію АЧХ-тестів здійснювали на базі іонної схеми, яка містить задаючий генератор (ЗГ) частоти — джерело живлення, підключений до послідовного кола з обмежуючим резистором, котушкою індуктивності та електролітичною коміркою (ЕК) з дослідною рідиною. При налагоджуванні іонної схеми випробували ЕК з різним співвідношенням довжини (l) до діаметру (d), для l = d одержали $\chi = r_{ЕК}$, $\varepsilon = C$, де $r_{ЕК}$, C — відповідно невідомі активний опір та ємність ЕК. Ґрунтуючись на теоретичних положеннях електротехніки, можна вважати, що електропровідність та діелектрична проникність однозначно зв'язані з активною та реактивною (ємнісною) складовою повного опору РП [3], а спад напруги на елементах іонного кола є їх побічними характеристиками. Реактивні опори котушки $x_1 = j\,\omega L$, ЕК $x_{ЕК} = -j/\omega C$. Повний опір спрощеної електричної схеми

$$z(\omega) = (r_0 + r_k + r_{ЕК}) + j(\omega L - 1/\omega C),$$
$$\omega = 2\,\delta\,f, \qquad (1)$$

де $r_0 = 2{,}7$ кОМ — обмежуючий опір; $r_k = 332$ Ом — активний опір котушки; L = 0,32 Гн ; f — частота електричного сигналу. Опори обмежуючого резистору та котушки підбирали в залежності від виду РП за умовою $x_1 < x_{ек}$. В процесі досліджень частоту ЗГ змінювали у межах 20...2000 Гц та вольтметром контролювали спад напруги U на елементах схеми. За результатами вимірювань одержували залеж-

ності U(f). Особливу увагу звернули на залежність $U_{ЕК}(f)$ та пріоритетні показники f_0, U_0, які характеризують досягнення в іонній схемі резонансного режиму ($x_L = x_{ЕК}$). В деяких випадках перевіряли функціональний зв'язок напруг АЧХ з якісними показниками продукту та оцінювали його електропровідність $\chi = r_{ЕК} \times s / l$ і діелектричну проникність $\varepsilon = l / (\omega_0^2 Ls)$, де s — переріз електродів ЕК. Принципи ідентифікації базуються на використанні АЧХ РП в заданій r L -ЕК схемі, зрівноваженні відомих r — L параметрів з невідомими $r_{ЕК}$ — С шляхом створення примусового резонансу, в даному випадку, напруг. Значення f_0, U_0 розглянули як варіант стандартної характеристики РП. Параметри r_0 — r_k обмежують формат площини АЧХ по вертикалі, r L — по горизонталі. Діапазон частот ЗГ підбирають по співвідношенню опорів x_l та $x_{ЕК}$.

Досліджували АЧХ електролітів з p, d, s іонами металів, концентрація яких Г / л. Надаються результати для іонів цинку, свинцю, кадмію, заліза, магнію, алюмінію, а також композиції кадмію з свинцем, залізом, цинком, натрієм, масові частки (МЧ) компонентів однакові. Результати електротехнічного тестування іонів (ETI) надані в таблицях 1, 2.

Таблиця 1

Вплив іонів на спад напруги на резонансній частоті

Вид іону	Zn	Pl	Mg	Al	Cd	Fe
U_0, мВ	80	19	8	24	13	70
f_0, кГц	6.5	8	8	7	7.5	7

Таблиця 2

Вплив композицій іонів на спад напруги в ЕК на резонансній частоті

Вид іону	Cd — Zn	Cd — Pl	Cd — Na	Cd — Fe
U_0, В	4.2	4	3.5	3
f_0, кГц	14.8	15	14.5	16

Показники ETI — діапазон напруг та частот для однорідних систем $8 \le U_0 \le 80$, $6500 \le f_0 \le 8000$. Аналіз результатів експериментів показує, що за величиною напруги розглянуті електроліти доцільно поділити на підгрупи 8 і 13, 19 і 24, 70 і 80, кожна підгрупа характеризується відносно близькими електропровідностями, але за частотою, яка функціонально зв'язана з діелектричною проникністю, вони складають одну групу. В композиційних системах кадмій створює одну групу електролітів як за напругою, так і за частотою. Звертає увагу, що ETI базових композицій кадмію суттєво відрізняються від ETI окремих одномірних складових. За даними таблиці 1 показники ETI в групі одномірних композицій є однією із ознак виду іону: частота характеризує належність дослідного зразка електроліту до заданої групи, а напруга — до підгрупи. Результати електротехнічного тестування олій (ETO) виробничих марок: 1 — Чумак, 2 — з базару (для порівняння), 3 — Славолія, 4 — Щедрий дар, 5 — Олейна представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Електротехнічні характеристики олій

№ Олії	1	2	3	4	5
U_0 мВ	93	88	105	97	95
f_0 кГц	5.05	5	5.3	5.15	5.07

Показники ETO $88 \le U_0 \le 105$, $5000 \le f_0 \le 5300$. Мінімальні значення напруги та частоти має олія з базару. Максимальні — у марки (технології) Славолія. Зміна двох складових індексів синхронна. Якщо припустити, що якісні показники олії з базару найгірші, в цьому випадку зробили припущення, що більш високі значення напруги та частоти можуть свідчити про кращу якість. Аналіз індексів ETO показує — реактивний опір олій значно більший ніж активний. Як бачимо в групі з п'яти зразків, з нашого погляду, показники ETO за частотою характеризують вид продукту, а за напругою його марку або технологію.

На замовлення виробничників досліджували АЧХ ординарних коньячних виробів — п'ять зірочок (1), чотири (2), три (3), а також два сфальсифікованих зразка (4, 5). За ДСТУ для кожного їх виду задаються вимоги до органолептичних та фізико-хімічних показників, серед яких: міцність, концентрації цукру, метилового спирту, міді та заліза. Окремі результати досліджень представлені в таблиці 4.

Таблиця 4

Електротехнічні ознаки дослідних коньяків

Марка коньяку	1	2	3	4	5
U_0 мВ	480	310	245	740	520
f_0 кГц	2	2	2	2	2

Аналіз результатів попередніх досліджень показує, що ординарні коньяки можна відобразити на площині АЧХ в діапазоні $245 \le U \le 480$ та $f \le 2000$ Гц. Оскільки показники напруг дослідних зразків суттєво відрізняються, вони є однією із ознак їх відповідності ДСТУ.

Досліджували АЧХ харчових спиртів. Якість спирту регламентується ДСТУ, в якій п'ятнадцять позицій. Наведено дані для чотирьох — альдегідів (А), сивушного масла (С), естерів (Е) та міцності (М), які мають наступні значення (МЧ мг/дм^3 для А, С, Е) відповідно: 2, 2, 2, 4; 2, 2, 3,4; 1.5, 2, 3, 5; 96.3, 96.3, 96.3, 96. Результати досліджень представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

Вплив фізико-хімічних характеристик спиртів на спад напруги в ЕК

Марка коньяку	1	2	3	4	5
U_0 мВ	480	310	245	740	520
f_0 кГц	2	2	2	2	2

Враховуючи особливості ДСТУ, для обґрунтування використання показників ЕТС перевірили наявність функціонального зв'язку електротехнічних показників з наведеними вище фізико-хімічними. Виконували факторні експерименти, будували та досліджували системну модель

$$\sum_{j=1}^{8} a_{j1} + a_{j2} A_j + a_{j3} C_j + a_{j4} E_j + a_{j5} M_j = U_{fj}, \quad (2)$$

де a_{ij} — невідомі коефіцієнти, значення U відповідає частотам 8...10 кГц.

Виявлення впливу якісних показників спирту на АЧХ здійснювали за розробленою програмою на ПК. Вирішували задачу — максимально ототожнити об'єкт дослідження з обраною математичною моделлю. За результатами моделювання (2) одержано

$$U(A, C, E, M) = 1.23 - 1.32 A - 9.53 C + 0.38 E + 18.2 M, \quad (3)$$

з коефіцієнтами кореляції 0.987, точністю 12 %.

З (3) можна зробити висновок, що основний вплив на напругу АЧХ здійснюють міцність (найбільший) та сивушне масло. За результатами експериментів показники ЕТС — $3.6 \le U_0 \le 4.3$, $16.9 \le f_0 \le 17.2$. Мінімальні значення напруги та частоти має перший тип, максимальні — четвертий. Зміна двох складових індексів синхронна. Аналіз результатів експериментів показує, що реактивний опір спиртів значно більший ніж активний, функціональний зв'язок показників ЕТС з розглянутими МЧ спирту встановлений з точністю 12%, що для процедур тестування може бути прийнятним. Показники ЕТС для досліджуваних зразків спирту характеризують його площину на АЧХ, але для оцінки прийнятності тестів необхідно врахувати повний комплект даних ДСТУ, а також вплив відповідних домішок. На замовлення виробничників досліджували харчові спирти з домішками етилен глюколю (ЕГ) та пропілового спирту (ПС). Спільно з проф. П. Л. Шияном та доц. Т.О. Мудрак оцінювали можливості їх виявлення. МЧ домішок в дослідних зразках задавали відповідно 0.5,2 (1), 1,1.5 (2), 1.5, 1 (3), 2, 0.5 (4). Результати досліджень представлені в таблиці 6.

Таблиця 6

Вплив домішок ЕГ та ПС в спирті на спад напруги в ЕК

№ зразку	1	2	3	4
U_0 В	3.4	3.5	3.7	4.4
f_0 кГц	17.5	17.8	18	18

Результати експериментів показують, що напруги харчового спирту з домішками ЕГ та ПС практично створюють одну групу з "чистими" спиртами. Перевіряли достовірність цього впливу шляхом математичного моделювання результатів факторного експерименту. Одержали рівняння регресії $U = 1.2ЕГ + 1.78ПС$ з точністю 5.7% з коефіцієнтом кореляції 0.99, що показує чутливість АЧХ тестів до цих домішок. З нашого погляду показник f_0 в загальному випадку характеризує вид продукту. Приблизну ідентифікацію харчового спирту потрібно виконувати в комплексі — за двома показниками, а для вимірювань використовувати чутливі цифрові прилади.

Спільно з проф. Т.П. Пирог досліджували АЧХ-тести бактеріальних середовищ (БС). Наводимо наступні: Bac. Subtilis (1), Micrococcus albus (2), Closscidium butisricum (3). Розглянули їх характеристики — рухливість та геометричні розміри у відносних одиницях відповідно 0.5, 0.01, 1, та 2, 12, 0.03. Результати ЕТБС та їх композицій 1 і 2 (4) та 1 і 3 (5) з МЧ 0.7 та 0. 3 представлені в таблиці 7.

Таблиця 7

Відображення дослідних БС у площині напруг на резонансній частоті

№ БС	1	2	3	4	5
U_0 мВ	720	9,8	290	100	700
f_0 Гц	14,2	12,4	14,8	14,6	14,8

Показники ЕТБС — для однорідних БС $9. 8 \le U_0 \le 720$, $12400 \le f_0 \le 14800$. Аналіз результатів експериментів показує, що однорідні БС за індексами напруги суттєво відрізняються, що є певною їх ознакою, але за частотою вони складають одну групу. В неоднорідних композиціях спостерігається не пропорційне реагування загального індексу напруг на складові 2 та 3. Резистивну складову повного опору ЕК представляли у вигляді двох нелінійних паралельно з'єднаних елементів, які характеризують МЧ БС 1 і 2 та 1 і 3. Попередні результати експериментів вказують, що електротехнічні вимірювання — АЧХ- тести для певних РП дають можливість їх ідентифікувати та одержати електротехнічні стандарти. Кількість ознак для процедури АЧХ-тестів залежить від вимог до ідентифікації, кількості контролюємих параметрів за ДСТУ, складу дослідного продукту тощо.

Висновки. Для стандартизації та оперативної ідентифікації запропоновані процедури АЧХ- тестів та їх апаратурна реалізація, що дає можливість виявити електротехнічні особливості видів РП та оцінювати дослідні зразки по відповідності фактичних електричних показників заданим.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Смірнов В.* Електрометричне тестування якісних характеристик молока і молочних виробів // Зб.наук. пр. — К.: Український державний університет харчових технологій . — 1998. — №4. — С.48-49.

2. *Смірнов В.С.* Електричні характеристики як об'єкти ідентифікації рідин з солями металів. Харчова промисловість № 4. — 2005. — С.95-97.

3. *Ашуева Т., Кирнос Л., Суржик Т., Смирнов В.* Эффективная электрическая проводимость и диэлектрическая проницаемость гетерогенных сред в переменном поле / Праці Інституту електродинаміки НАН України. — К. .: — 1999 — С. 13-17.

Одержана редколегією 27.05.09 р.