

ЕЛЕКТРИЧНІ ІНТЕГРАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДИСПЕРСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

Сторожук Л. О.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Приведено методику досліджень аналізу інтегральних характеристик дисперсного складу за допомогою контактних кондуктометричних комірок.

Постановка проблеми. Сучасні технології переробної промисловості, що базуються на державних і міжнародних стандартах посилили вимоги до якості продукції. Для визначення технологічних процесів необхідно розділити молоко за показниками якості на сорти. При переробці молока контроль якості продукції здійснюється на всіх етапах, починаючи з відбору сировини. В різних галузях промисловості широко застосовують хімічні, оптичні, седиментаційні, електрохімічні та ін. методи аналізу дисперсних речовин. Також велике значення у визначенні складу і якості продукції мають електричні методи. Їх застосування має ряд суттєвих переваг, таких як швидкодія, можливість використання в дистанційних методах аналізу, високі чутливість, надійність, безпеку, точність і простоту в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначення якості продукції є актуальним і проблемним питанням. На сьогодні існує широкий вибір способів і методів відповідного визначення. Але виробники намагаються застосовувати безпечні методи діагностування. До них можна віднести електричні методи аналізу дисперсних характеристик молочних продуктів. Дослідження базується на фізичних основах електричних методів аналізу з використанням математичного розрахунку [1, 2].

Мета статті. Дослідити кондуктометричні методи аналізу дисперсних характеристик молочної продукції, що базуються на залежності зміни характеристик електромагнітного поля від структури, складу і фізичних властивостей речовини у процесі їх взаємодії.

Основні матеріали дослідження. Для визначення діелектричної проникності речовин сільськогосподарського призначення використовують різні методи, серед яких певне місце займають методи прямого вимірювання. В цьому випадку як вимірювальний датчик можуть використовуватись електродні системи у вигляді плоских, циліндричних та сферичних конденсаторів з розміщенням у них вимірюваних речовин або їх суміші. Конструкції та розміри цих датчиків, а фактично вимірювальних конденсаторів, повинні задовольняти умову квазістаціонарності по всьому об'єкту, тобто умову, коли довжина хвилі електричного поля значно більша розмірів конденсатора з продуктом [3].

Для сільськогосподарських та харчових продуктів, які являють собою рідини, тверді, сипкі, волокнисті та інші види продуктів, нині застосовують датчики різних конструкцій (вимірювальні конденсатори) [4].

При вимірюванні діелектричної проникності в області низьких частот (до 10^2 Гц) застосовують метод амперметра - вольтметра, який характеризується високою точністю і, в першу чергу, за рахунок впливу зміни напруги живлення.

В області середніх частот ($10^2 \dots 10^5$ Гц) використовують різні види мостових схем, які відзначаються високою точністю, хоча і вимагають застосування додаткових заходів, наприклад екранізації ділянок схем, симетричності розміщення ділянок моста та ін.

В області високих частот ($10^5 \dots 10^8$ Гц) застосовують резонансні методи вимірювання, в діапазоні надвисоких частот ($10^8 \dots 10^{10}$ Гц) вимірювальні ділянки схеми є розподіленими параметрами, при цьому умова квазістаціонарності не виконується.

Як вимірювачі в реальних умовах можна застосовувати вимірювачі типу *E8*, *E7*, автоматичні мости змінного струму типів *P 5016*, *P 5083*, вимірювачі *E7-9*, *CLR*, типу *E7-13* та ін. [3].

У харчовій промисловості кондуктометричний метод аналізу широко використовується для визначення таких інтегральних характеристик дисперсного складу як концентрація, жирність, вологість з метою контролю і регулювання технологічних процесів і визначення якісних показників продукції. Це показники, які відповідають вимогам із визначення якості молочної продукції. Тому розглянемо цей метод аналізу. За допомогою контактних кондуктометричних комірок визначають, наприклад, концентрацію різних сольових розчинів, вологість порошкоподібних сипучих молочних продуктів та ін. Домінуючим методом аналізу дисперсних систем за допомогою контактних кондуктометричних комірок є метод вимірювання за допомогою постійного струму або струму низької промислової частоти. Визначення інтегральних характеристик дисперсного складу цим методом ґрунтується на використанні залежності питомої провідності (опору) системи від концентрації і природи розчиненої речовини або від об'ємної частки та електричних властивостей компонентів дисперсної системи. Нехтуючи діелектричними втратами, що є виправданим при низьких частотах змінного струму, шукану інтегральну характеристику дисперсного складу речовини визначають вимірюванням питомого опору контактної комірки, величина якого залежить від питомої провідності:

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{S} \quad (1)$$

де L/S – константа вимірювальної комірки;

L – відстань між електродами комірки;
 S – площа електродів комірки.

Константи вимірювальної комірки визначають дослідним шляхом за допомогою еталонних розчинів речовин із відомою провідністю. Після вимірювання опору комірки константу комірки розраховують за формулою:

$$L/S = \sigma_e R \quad (2)$$

де σ_e – питома електропровідність еталонної речовини.

На практиці в якості еталонної речовини широко використовують водний розчин хлориду калію, величина електропровідності якого залежить від концентрації при різних температурах відома з достатньо великою точністю.

Необхідність знаходження константи комірки дослідним шляхом пояснюється складністю аналітичного розрахунку похибки, пов'язаної з нерівномірністю електричного поля вимірювального об'єму комірки, а також можливим відхиленням від розрахованих геометричних характеристик комірки, викликаних конструктивними неточностями при виготовленні та зборці комірки.

Для визначення опору комірки на постійному струмі в кондуктометрії використовується вимірювальні схеми аналізаторів мостового типу. Принципіальна мостова вимірювальна схема постійного струму складається із чотирьох плечей, які включають в себе опори R_1 , R_2 , R_3 і вимірювальну кондуктометричну комірку з шуканим опором R_x , а також джерело напруги живлення та нуль-інструмент. Шуканий активний опір контактної кондуктометричної комірки знаходиться після приведення вимірювальної схеми моста до стану рівноваги шляхом підбору опорів R_1 , R_2 , R_3 . З умови рівноваги моста постійного струму розраховують шуканий опір комірки [1].

Для зменшення похибки вимірювання від поляризаційних явищ рекомендується зменшити силу струму і час вимірювання.

В харчовій промисловості контактні кондуктометричні комірки на постійному струмі в основному використовуються у простих вимірювальних приладах типу омметрів і мегомметрів для визначення вологості продуктів, які володіють великим питомим опором. Типова схема омметра складена із джерела живлення, вимірювального та калібрувального опорів R_1 і R_2 і вимірювального приладу. Шкалу мікроамперметра градуують в одиницях електричного опору або вологості у відповідності з виразом

$$R_x = R (I_0/I - 1) \quad (3)$$

де R – сума постійних опорів кола при замкнутих накоротко затискачах вимірювальної комірки;

I , I_0 – струм в колі, яке містить вимірювальну комірку і при її відсутності.

Електрична схема електровологоміра, вимірювальна частина якого побудована за схемою послідовно-

го омметра, типовою для електровологомірів, приведена на рисунку 1. Вимірюваний опір комірки R_x з речовиною увімкнене послідовно з джерелом струму, гальванометром і опорами R_1 , R_2 . Для вимірювання вологості речовини з високим опором, можна використовувати електронні мегомметри, для яких основана на вимірювання падіння напруги U_1 на опорі кондуктометричної контактної комірки, увімкненої послідовно в електричне коло з еталонного опору R та джерела постійного струму. В якості реєструючого приладу використовують електронний вольтметр. Падіння напруги при проходженні електричного струму через комірку, через її опір, пояснюється вологістю досліджуваного продукту, визначають за виразом:

$$U_x = U / (1 + R/R_x), \quad (4)$$

де U – напруга джерела живлення постійного струму.

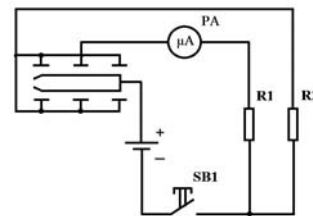


Рисунок 1 – Електрична схема електровологоміра

Очевидно, при незмінності U шкалу вольтметра можна відградувати в одиницях опору або вологості.

Живлення електровологоміра здійснюється від батарейних джерел постійного струму, напруга яких змінюється в часі у зв'язку зі старінням елементів живлення, тому аналізатори перед кожним вимірюванням повинні бути заново відкалібровані. Застосовують електронні вольтметри з операційними підсилювачами ОП, на вхід яких включається зразковий опір, а в ланцюг зворотного зв'язку – вимірювальна величина опору комірки з речовиною. Вихідна напруга операційного підсилювача за такою схемою (рис. 2) пропорційна опору вимірювальної комірки:

$$U_{вих} = -(E/R_{оп})R_x = aR_x \quad (5)$$

Незважаючи на досить розвинену в кондуктометрії теорію аналізу, кондуктометричні перетворювачі постійного струму в молочній промисловості мають обмежене застосування, що пов'язано з побічними електрохімічними явищами, що викликають спотворення результатів вимірів.

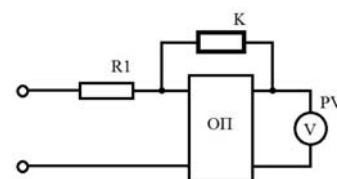


Рисунок 2 – Схема електронного омметра на операційному підсилювачі

Велику популярність мають аналізатори з контактними кондуктометричними комірками, що працюють на змінному струмі порівняно низької частоти. Більшість таких аналізаторів працює на змінному струмі промислової частоти 50 Гц. Проте в окремих випадках частота підвищується до 1000 Гц і більше. Робота аналізаторів на таких частотах дозволяє звести до мінімуму поляризаційні явища і в той же час нехтувати похибками від паразитних ємностей.

Найбільше застосування у вимірювальних пристроях змінного струму низької частоти мають різні варіанти чотириплечих мостів, які на відміну від мостів постійного струму утворені з чотирьох комплексних опорів: Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 .

Аналіз речовин за допомогою мостів змінного струму базується на попередньому приведенні вимірювальної схеми до стану рівноваги шляхом виконання певних регулювань комплексних опорів тих чи інших плечей мосту. Однак на відміну від мостів постійного струму для досягнення рівноваги моста змінного струму необхідно регулювати два параметри: модуль і фазу комплексних опорів відповідних плечей мосту.

Умова рівноваги моста змінного струму досягається в тому випадку, якщо

$$|Z_1 Z_3| = |Z_2 Z_4| \text{ і } \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4, \quad (6)$$

де $|Z_1|, |Z_2|, |Z_3|, |Z_4|$ - модулі комплексних опорів; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - фазні кути комплексних опорів.

Мостова вимірювальна схема врівноважується за модулем за допомогою активних складових, а по фазі — за допомогою реактивних складових комплексних опорів плечей.

Зміна при регулюванні активного або реактивного опору викликає одночасну зміну і модуля, і фази, тому операція урівноваження може здійснюватися тільки методом послідовних наближень, що пояснюється тривалістю і трудомісткістю процесу. Кількість поперемиінних операцій, необхідних для врівноваження, називається збіжністю мосту, яка характеризує швидкість досягнення рівноваги.

Як впливає з виразів (6), рівновагу мостової вимірювальної схеми можна забезпечити набором недовільних, а певних активних і реактивних елементів. Наприклад, якщо вимірювальна комірка із речовиною, включена в одне з плечей мостової схеми, відноситься до напівпровідників і володіє активним опором і ємністю Z_1 , то для врівноваження такого моста по фазі суміжне плече Z_2 має містити також активні і реактивні елементи.

Мостові вимірювальні схеми на змінному струмі збирають за допомогою стандартних елементів 3 відомих мостових схем найбільш досконалою є мостова вимірювальна схема моста змінного струму з індуктивними пов'язаними плечима відносини.

До основних переваг трансформаторної мостової схеми відноситься висока точність вимірювань, яка пояснюється великою стабільністю параметрів плечей, що є обмотками одного і того ж трансформатора, під дією найрізноманітніших дестабілізуючих факто-

рів, таких, як температура, волога, старіння елементів схеми.

Трансформаторні мости дозволяють перекрити широкий діапазон вимірювання опорів від 0,0001 Ом до 1000 МОм, що є великою перевагою в порівнянні з іншими вимірювальними пристроями.

Висновки. На основі врівноважених низькочастотних мостів змінного струму в м'ясній промисловості розроблено і широко застосовуються різноманітні інтегральні аналізатори складу, які залежно від контрольованого параметра називаються концентратомірами, вологомірами, кислотомірами тощо.

У сучасному виробництві м'ясної продукції застосування електричних методів аналізу має актуальність і перспективність. Аналізатори з контактними кондуктометричними комірками забезпечують дослідження широкого діапазону показників якості продуктів м'ясопереробки.

Список використаних джерел

1. Барковский В. Ф. Основы физико-химических методов анализа. [Учебное пособие] / В. Ф. Барковский, Т. Б. Городенцева, Н. Б. Топорова – М.: Высш. шк., 1983. – 248 с.
2. Говоров В. А. Электрические и магнитные поля / В. А. Говоров – М.: Пищевая пром-ть, 1960. – 463 с.
3. Іноземцев Г. Б. Фізико-технологічні та електрофізичні властивості сільськогосподарських продуктів і матеріалів / Г. Б. Іноземцев, Л. С. Червінський, О. М. Берека, О. В. Окушко – К.: Аграр. Медіа Груп, 2010. – 180 с.
4. Рогов И. А. Дисперсные системы мясных и молочных продуктов./ И. А. Рогов, А. В. Горбатов, В. Я. Свинцов – М.: Агропромиздат, 1990. – 320 с.

Аннотация

АНАЛИЗ ДИСПЕРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ИНТЕГРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Сторожук Л. О.

Приведена методика исследований анализа интегральных характеристик дисперсного состава с помощью контактных кондуктометрических ячеек.

Abstract

THE ANALYSIS OF DISPERSED CHARACTERISTICS OF DAIRY PRODUCTS BY ELECTRICAL INTEGRAL METHODS

L. Storozhuk

The methods of investigation analysis of the integral characteristics of the particulate composition with contact conductivity cells.