

РОЗРОБКА СЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
ФАЛЬСИФІКАЦІЇ МОЛОЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ
ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Василенко Д. О., аспірант, e-mail: hideseptember24@gmail.com

Сорокін М. С., к.т.н., доц., e-mail: sorokin.ekt@gmail.com

Державний біотехнологічний університет

Актуальність дослідження. Фальсифікація молочних продуктів є поширеною проблемою, яка негативно впливає на здоров'я споживачів та економіку харчової промисловості. Часто додають воду, рослинні жири, стабілізатори, замітники білків або інші домішки для здешевлення продукту. На сьогодні найбільше поширення знайшли так звані хроматографічні методи. Але вони потребують лабораторного обладнання та займають час, що ускладнює контроль безпосередньо на етапах закупівлі та виробництва. Розробка швидкого і доступного способу виявлення фальсифікатів за допомогою сенсорної системи на основі електричних параметрів могла б суттєво полегшити процес і підвищити рівень безпеки молочних продуктів.

Мета дослідження. Розробити сенсорну систему, яка зможе виявляти фальсифікацію молочної продукції на основі вимірювання електричних параметрів, таких як електропровідність, діелектрична проникність, ємність, імпеданс. Розроблений пристрій має бути мобільним, доступним для використання у виробничих і торгових точках, а також забезпечувати швидкі та точні результати.

Основні матеріали дослідження. На початку дослідження треба провести аналіз характеристик молочних продуктів а також поширених фальсифікаторів, тобто речовин які можуть бути додані в молочний продукт для збільшення наприклад його об'єму. Відповідно необхідно проаналізувати електричні параметри натурального молока, вершків, йогуртів тощо, а також особливості фальсифікованих продуктів із додаванням води, рослинних жирів, стабілізаторів і заміників білка. Для успішного виявлення фальсифікації молока необхідно розглянути фізико-хімічні та електричні властивості молока. Натуральне молоко має унікальні електричні параметри, що зумовлені його складом (вода, жири, білки, мінеральні речовини). Додавання фальсифікуючих речовин змінює його електричні властивості. Електропровідність підвищується при додаванні води та знижується при використанні рослинних жирів. Ємність і діелектрична проникність можуть вказувати на зміну концентрації білків та вуглеводів. Значення імпедансу може виявити зміни у структурі продукту, що вказують на фальсифікацію.

Електропровідність молока (σ) залежить від концентрації іонів у ньому, яка змінюється при додаванні води, заміників білка або стабілізаторів. Молоко можна представити як двофазну рідину, де одна фаза – це вода з розчиненими електролітами, а друга – молочний жир.

Виходячи із цього можна запропонувати наступну модель яка описує електропровідність молока:

$$\sigma = \sigma_{\text{води}} \cdot (1 - f) + \sigma_{\text{молока}} \cdot f \quad (1)$$

де, f – частка молочного жиру, $\sigma_{\text{води}}$ – електропровідність води, $\sigma_{\text{молока}}$ – електропровідність еталонного зразку молока.

Діелектрична проникність молока (ϵ) залежить від частки води і жирів. Зміна діелектричної проникності може служити індикатором наявності домішок у молоці, зокрема води або заміників жирів. Для математичного аналізу діелектричної проникності молочної продукції скористаємося сумішевою моделлю Максвелла-Гарнета. Ця модель дозволяє визначити діелектричну проникність однорідного середовища із розміщеними в неї неоднорідними частинками. Таким чином модель діелектричної проникності має вид:

$$\varepsilon_{\text{дійсне}} = \varepsilon_{\text{жирів}} + \frac{3f(\varepsilon_{\text{води}} - \varepsilon_{\text{жирів}})}{\varepsilon_{\text{води}} + 2\varepsilon_{\text{жирів}} - f(\varepsilon_{\text{води}} - \varepsilon_{\text{жирів}})} \quad (2)$$

де, $\varepsilon_{\text{дійсне}}$ – дійсна діелектрична проникність зразка молока, $\varepsilon_{\text{води}}$ – діелектрична проникність води, $\varepsilon_{\text{жирів}}$ – діелектрична проникність молочних жирів f – частка молочного жиру.

Імпеданс молока Z залежить від зміни частоти прикладеного електричного потенціалу (ω), що дозволяє досліджувати його на різних частотах для визначення фальсифікату. Молоко, являє собою складне електричне середовище, може бути представлено еквівалентною схемою з ємністю C та опором R :

$$Z(\omega) = R + \frac{1}{j\omega C} \quad (3)$$

Параметри R та C описують ємнісні та резистивні параметри молочної продукції.

Для створення сенсорної системи для визначення фальсифікації молочної продукції за допомогою електричних параметрів доцільно зосередитися на компактній конструкції, що включає електроди, вимірювальні схеми, обробку даних, дисплей і комунікаційний модуль. Ось запропонована конструкція:

Для створення технічної системи визначення якості на основі наведених параметрів запропоновано паралельні пластинчасті або кільцеві електроди, які забезпечують рівномірний розподіл електричного поля в молоці. Також слід врахувати температурний режим оскільки це має безпосередній вплив на електричні властивості, тому вбудований температурний датчик (наприклад, термістор) дозволить підвищити точність вимірювання. Для зчитування сигналів із електродів, бажано з розрядністю 12-16 біт для більшої точності. Для генерації змінного струму з частотою в діапазоні 10 Гц – 1 МГц, що дозволить проводити імпедансу спектроскопію і визначати діелектричні та ємнісні параметри. В якості приладу обчислення отриманих параметрів можна використати мікроконтролер на базі процесора STM32 або ESP32 з достатньою обчислювальною потужністю та інтерфейсами, температурного датчика та дисплея. Мікроконтролер отримує значення імпедансу, електропровідності та ємності і порівнює їх із заздалегідь визначеними еталонними значеннями для натурального та фальсифікованого молока. Використання фільтрації шумів і аналізу за допомогою моделей для швидкого визначення відхилень у показниках, що вказують на фальсифікацію.

Ця конструкція забезпечить швидкий і точний аналіз молока на фальсифікацію завдяки вимірюванню електричних параметрів і аналізу їх відхилень від стандартних значень натурального молока.

Висновок. Таким чином проведено аналіз факторів визначення якості молочної продукції, запропоновано математичні моделі визначення основних електролітичних параметрів, що залежать від молока та його домішок а також запропоновано концепцію сенсорної системи для визначення фальсифікації молочної продукції шляхом вимірювання її електричних параметрів. Запропонований пристрій дозволяє швидко ідентифікувати зміни електропровідності, ємності та діелектричної проникності молока, які виникають при додаванні води, замінників жирів або стабілізаторів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кабалдов Ю. К., Лобода О. І., Вибір методу і пристрою для визначення діелектричних властивостей молока: Науковий вісник. Мелітополь: ТДАТУ, 2019.
2. Кучерук О. О. Васюра А. С., Методи та прилади вимірювання потому молока. URL <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/29320>