



УКРАЇНА

(19) UA (11) 27330 (13) U
(51) МПК (2006)
G01N 33/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗАМОРОЖЕНИХ ПРОДУКТІВ

1

(21) u200706878

(22) 19.06.2007

(24) 25.10.2007

(72) СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA,
СЛОВБІР ВЕРОНІКА МИКОЛАЇВНА, UA(73) КІЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, UA

(56)

(57) 1. Спосіб оцінки якості заморожених продуктів шляхом розміщення замороженого продукту між електродами ємнісного датчика та вимірювання на початку заморожування продукту та через деякий час тангенсів кута електричних втрат ємнісного датчика в області високих частот, який **відрізняється** тим, що для вимірювання тангенсу кута електричних втрат ємнісного датчика в області високих частот до його електродів підключають резонансний контур з частотою резонансу в області високочастотних теплових

2

шумів замороженого продукту, отримують шумовий струм, який перетворюють на дві шумові напруги, підсилюють їх двома високочастотними підсилювачами, перемножують підсилені напруги, усереднюють перемножені шумові напруги, вимірюють постійну складової усередненої напруги, яку порівнюють з постійною складовою усередненої напруги, яка пропорційна тангенсу кута електричних втрат якісного замороженого продукту, а за різницею між ними визначають якість заморожених продуктів.

2. Спосіб оцінки якості заморожених продуктів за п. 1, який **відрізняється** тим, що постійну складову усередненої напруги, яка пропорційна тангенсу кута електричних втрат якісного замороженого продукту, запам'ятовують шляхом підключення резонансного контуру до еталонного конденсатора.

Корисна модель відноситься до області аналізу стану продуктів харчування та може бути використана для кількісної оцінки якості заморожених продуктів в процесі зберігання.

Підвищення часу зберігання заморожених продуктів (м'яса, риби, масла та інших) потребує створення способів оцінки їх якості під час зберігання. В сьогоденні оперативний контроль заморожених продуктів здійснюється в основному візуально чи взяттям проб з подальшим розморожуванням та оцінкою якості аналітичними методами. Однак такий контроль є руйнуючим та потребує великих витрат часу та сировини.

Неруйнівні методи контролю заморожених продуктів базуються на непрямій оцінці їх якості за станом холодильних установок, тобто вимірюванням тиску та температури в робочих порожнинах холодильних компресорів. Однак навіть при нормальних режимах роботи холодильного устаткування має місце погіршення якості заморожених продуктів через індивідуальні властивості партій продуктів, що зберігаються.

Відомий спосіб оцінки якості заморожених продуктів [див. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов/

И.А. Рогов, В.Я. Адаменко, С.В. Некрутман и др., под редакцией Рогова - М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1981, с.72-76], заснований на вимірюванні діелектричної проникності продуктів у діапазоні високих частот та оцінки їх якості за зниженням діелектричних характеристик в процесі зберігання.

Однак в даному способі відбувається виділення тепла в продукті через діелектричні витрати у високочастотному електромагнітному полі. При погіршенні якості продукту, в ньому зростають електричні витрати, що призводить до ще більшого виділення тепла та розмороження.

Відомий спосіб оцінки якості заморожених продуктів [див. Якутов В.С. Электропроводность и геоэлектрический разрез мерзлых толщ. - М.: Наука, 1968, с.45-48], заснований на вимірюванні іонної провідності продукту на низькій частоті та оцінці якості за рівнем електропровідності.

Однак низька наскрізна електропровідність заморожених продуктів погіршує оцінку їх якості за витратами провідності. Крім того, вимірювальний струм, який проходить через продукт, призводить до виділення тепла та порушення режиму зберігання.

(13) U
(11) 27330
(19) UA

Відомий також спосіб оцінки якості заморожених продуктів [див. Романовский І.Я. Электрофизичні методи контролю якості продуктів харчування - К.: Наукова думка, 1996, с.64-70] шляхом розміщення замороженого продукту між електродами ємнісного датчика та вимірювання на початку заморожування продукту та через деякий час тангенсів кута електричних втрат ємнісного датчика в області високих частот.

Крім того, відомий спосіб містить операції підключення до електродів ємнісного датчика генератора коливань високої частоти та вимірювання добротності ємнісного датчика з продуктом зберігання.

Резонансний режим роботи схеми призводить до значного збільшення високочастотного струму, який проходить через ємнісний датчик, що призводить до нагріву замороженого продукту. Тому цей спосіб оцінки якості заморожених продуктів також не відповідає вимогам неруйнівного контролю. Крім того, підвищення температури продукту призводить до підвищення значення вимірювальних витрат, що змінює результати контролю.

В основу корисної моделі покладена задача створити такий спосіб оцінки якості заморожених продуктів, в якому шляхом введення нових операцій забезпечилось би підвищення достовірності оцінки якості продуктів без розморожування.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі оцінки якості заморожених продуктів шляхом розміщення замороженого продукту між електродами ємнісного датчика та вимірювання на початку заморожування продукту та через деякий час тангенсів кута електричних втрат ємнісного датчика в області високих частот, згідно з корисною моделлю, для вимірювання тангенсу кута електричних втрат ємнісного датчика в області високих частот, до його електродів підключають резонансний контур з частотою резонансу в області високочастотних теплових шумів замороженого продукту, отримують шумовий струм, який перетворюють на дві шумові напруги, підсилюють їх двома високочастотними підсилювачами, перемножують підсилені напруги, усереднюють перемножені шумові напруги, вимірюють постійну складову усередненої напруги, яку порівнюють з постійною складовою усередненої напруги, яка пропорційна тангенсу кута електричних втрат якісного замороженого продукту, а за різницею між ними визначають якість заморожених продуктів.

Доцільно, щоб постійну складову усередненої напруги, яка пропорційна тангенсу кута електричних втрат якісного замороженого продукту, запам'ятовувати шляхом підключення резонансного контуру до еталонного конденсатора.

Підключення до електродів ємнісного датчика з послідовно з'єднаних конденсаторів та первинної обмотки підвищуючого трансформатора, налаштованого на послідовний резонанс електричних шумів, дозволяє виділити зі спектру теплових шумів замороженого продукту шумовий струм, функціонально зв'язаний з тангенсом кута

електричних витрат в цьому продукті, та перетворити шумовий струм у дві шумові напруги, які знімаємо зі вторинних обмоток трансформатора. Підсилення шумових напруг двома високочастотними підсилювачами, наступне їх перемноження та їх усереднення забезпечує виключення впливу власних шумів високочастотних підсилювачів та отримання постійної напруги, яка пропорційна тільки електричним витратам в продукті, що зберігається. Наступне порівняння отриманої постійної напруги з напругою пропорційною електричним витратам у зразковому конденсаторі зі заданими електричними витратами, які відповідають якісному замороженому продукту, забезпечує кількісну характеристику якості через відносну різницю порівнювальних напруг, що підвищує достовірність оцінки якості продуктів, що зберігаються, без їх розмороження.

На кресленні представлена функціональна схема вимірювального пристрою, за допомогою якого реалізується запропонований спосіб.

На схемі позицією один 1 позначена холодильна камера, всередині якої розміщені електроди 2 та 3, які складають ємнісний датчик. До електродів 2 та 3 через перемикачі 4 та 5 підключений резонансний ланцюг з послідовно з'єднаних конденсаторів 6 та 7 та первинної обмотки 8 підвищуючого трансформатора 9. До вторинних обмоток 10 та 11 підвищуючого трансформатора 9 підключені високочастотні підсилювачі 12 та 13, виходи яких з'єднані з множиальною схемою 14. Вихід множиальної схеми 14 через інтегратор 15 з'єднаний з вольтметром 16.

В іншому положенні перемикачів 4 та 5 до конденсаторів 6 та 7 підключений еталонний конденсатор 17, який шунтовано резистором 18.

Заморожені продукти знаходяться в холодильній камері 1 та в зоні дії ємнісного датчика з електродами 2 та 3.

Спосіб оцінки якості заморожених продуктів здійснюється наступним чином.

В холодильній камері 1 між електродами 2 та 3 розміщують продукт, який зберігається при низькій температурі (270-206К). Електричні властивості замороженого продукту такі ж як і у діелектрика, так як вода, яка входить в склад продуктів, знаходиться у вигляді льоду. Як відомо, в будь-якому діелектричному середовищі з активними електричними витратами присутні електричні флуктуації чи тепловий струм. Цей шум є наслідком теплового хаотичного (броунівського) руху носіїв струму, які знаходяться в термодинамічній рівновазі з молекулами речовини продукту. У зв'язку з низькою провідністю заморожених продуктів джерелом теплового шуму у діелектрику є не вільні електрони та іони (як в провідному середовищі), а термозбуджені поляризовані молекули, які утворюють елементарні флуктуючі диполі. Це призводить до того, що в замкнутому електричному ланцюгу в окремі проміжки часу будуть проходити флуктуючі струми, а на різних її елементах будуть виникати відповідні шумові напруги.

Згідно формули Найквіста середнє квадратичне значення шумового струму

$$\bar{b} = \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{\operatorname{Re} Z}} \quad (1)$$

де k - стала Больцмана;

T - термодинамічна температура в градусах Кельвіна;

Δf - смуга частот, в якій вимірюється шум;

$\operatorname{Re} Z$ - активна складова комплексного опору Z замороженого продукту.

При паралельній схемі заміщення ємнісного датчика з активними витратами ідеальним конденсатором ємністю C_0 та резистором з опором R_0 активна складова комплексного опору

$$\operatorname{Re} Z = R_0 / \left[1 + (\omega R_0 C_0)^2 \right] = \operatorname{tg} \delta / [\omega \varepsilon C_0 (1 + \operatorname{tg}^2 \delta)] \quad (2)$$

де $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс кути діелектричних витрат;

ε - діелектрична проникність замороженого продукту;

ω - кутова частота шумового струму.

З виразу (2) видно, що активна складова комплексного опору ємнісного датчика $\operatorname{Re} Z$ пропорційна тангенсу кута активних витрат. У відповідності з виразом (1) шумовий струм функціонально зв'язаний з активними витратами без підведення зовнішньої електричної напруги, яка може викликати розморожуючий ефект. Середнє квадратичне значення шумового струму дуже низьке (долі мікроампер) і тому його вплив на заморожений продукт відсутній. В той же час частотний спектр теплового шуму дуже широкий (від одиниць кГц до сотень МГц).

Враховуючи малу ємність електродної системи 2 та 3 холодильної камери 1 (десятки мікрофард) полосу частот виділяемого шуму обирають в області високих частот. Для виділення слабого шумового сигналу використаний високочастотний резонансний ланцюг з послідовно з'єднаних конденсаторів 6 та 7 та первинної обмотки 8 підвищуючого трансформатора 9. При послідовному резонансі зовнішній електричний ланцюг холодильної камери 1 має близький до нуля опір по електричним шумам. Тому струм, який протікає через первинну обмотку 8 підвищуючого трансформатора 9 практично визначається тільки внутрішнім опором ємнісного датчика, тобто виразом (1). Якщо ємність конденсаторів 6 та 7 вибирати в сто-двісті разів більше ємності датчика холодильної камери 1, то резонансна частота зовнішнього ланцюга визначиться параметрами конденсаторів 6 та 7 та індуктивністю первинної обмотки 8 підвищуючого трансформатора 9 із умови:

$$\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L_1 = 0 \quad (3)$$

де C_1 та C_2 - ємності конденсаторів 6 та 7;

L_1 - індуктивність первинної обмотки 8 підвищуючого трансформатора 9.

При рівності ємностей конденсаторів 6 та 7 $C_1 = C_2$ резонансна частота

$$\omega_0 = \frac{2}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad (4)$$

Смуга частот $\Delta \omega$ шуму, який виділяється, визначається добротністю первинної обмотки 8 підвищуючого трансформатора 9 та резонансною частотою ω_0

$$\Delta \omega = 2\pi \Delta f = \frac{\omega_0}{2Q} \quad (5)$$

$$Q = \frac{\omega L_1}{r}$$

де r - добротність первинної обмотки 8 підвищуючого трансформатора 9;

r - омичний опір первинної обмотки 8 підвищуючого трансформатора 9.

На резонансній частоті шумовий струм (1) створює на вторинних обмотках 10 та 11 підвищуючого трансформатора 9 дві шумові напруги, середньоквадратичне значення яких

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_2 = k_1 \omega_0 L_1 Q \bar{b} \quad (6)$$

де k_1 - коефіцієнт трансформації підвищуючого трансформатора 9 ($k_1 \gg 1$).

Вихідні напруги підвищуючого трансформатора 9 з вторинних обмоток 10 та 11 підсилюються високочастотними підсилювачами 12 та 13. Підсиленні напруги з урахуванням власних шумів підсилювачів 12 та 13, які не корельовані з шумами холодильної камери 1, можна представити у вигляді:

$$\bar{U}_3 = k_2 \sqrt{\bar{U}_1^2 + \bar{U}_4^2} \quad (7)$$

$$\bar{U}_5 = k_3 \sqrt{\bar{U}_2^2 + \bar{U}_6^2} \quad (8)$$

де k_2 та k_3 - коефіцієнти підсилення високочастотних підсилювачів 12 та 13;

\bar{U}_4 та \bar{U}_6 - середньоквадратичні значення напруг власних шумів високочастотних підсилювачів 12 та 13.

Підсиленні напруги (7) та (8) перемножуються множиною схемою 14, а перемножені напруги усереднюються інтегратором 15. При

перемноженні напруг \bar{U}_3 та \bar{U}_5 слід врахувати, що власні шуми високочастотних підсилювачів 12 та 13 теж між собою не корельовані. Крім того,

кожна з підсиленних напруг \bar{U}_1 та \bar{U}_2 не корельована з власними шумами \bar{U}_4 та \bar{U}_6 високочастотних підсилювачів 12 і 13. Тому

добуток підсиленних шумових напруг з урахуванням усереднення буде визначатися тільки добутком

корельованих шумових напруг \bar{U}_3 та \bar{U}_5 , які формуються з одного шумового струму (1):

$$\bar{U}_7 = m \bar{U}_2 \bar{U}_5 = m k_2 k_3 \bar{U}_1 \bar{U}_2 \quad (8)$$

де m - масштабний коефіцієнт множиною схемою 14 з урахуванням усереднення інтегратором 15.

Оскільки напруги \bar{U}_1 та \bar{U}_2 формуються з одного шумового струму, то їх коефіцієнт кореляції

дорівнює одиниці. Тому усереднений добуток (8) з урахуванням виразу (6)

$$\bar{U}_8 = m k_1^2 k_2 k_3 \omega_0^2 L_1^2 Q^2 \bar{I}_0^2 \quad (9)$$

Підставляючи в (9) вираз шумового струму з (1), отримаємо

$$\bar{U}_8 = 4 m k k_1^2 k_2 k_3 \omega_0^2 L_1^2 Q^2 T \Delta f / \operatorname{Re} Z \quad (10)$$

Усереднений добуток шумових корельованих напруг (10) представляє собою постійну складову результуючої напруги, яка вимірюється вольтметром 16.

Підставив в (10) значення активної складової комплексного опору ємнісного датчика з виразу (2), отримаємо

$$\bar{U}_9 = 4 m k k_1^2 k_2 k_3 \omega_0^2 L_1^2 Q^2 \varepsilon C_0 T \Delta f \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}{\operatorname{tg} \delta} \quad (11)$$

У заморожених продуктах $\operatorname{tg} \delta$ відносно малий та звичайно не перевищує значення 10^{-1} . Тому кінцевий результат вимірювання буде мати вигляд

$$\bar{U}_{10} = S / \operatorname{tg} \delta, \quad (12)$$

де $S_0 = 4 m k k_1^2 k_2 k_3 \omega_0^2 L_1^2 Q^2 \varepsilon C_0 T \Delta f$ - крутизна узагальненого перетворення шумового струму ємнісного датчика у вимірювану постійну напругу.

З отриманого виразу (12) видно, що показання вольтметру 16 зменшуються при збільшенні активних втрат в замороженому продукті, тобто з погіршенням його якості. Тому показники вольтметра 16 на початку зберігання будуть найбільшими, після чого зі збільшенням строку зберігання показання вольтметру 16 будуть зменшуватися, тобто шкала може бути відградуйована в умовних одиницях якості.

Для виключення впливу несталості коефіцієнтів перетворення різних елементів вимірювальної схеми пропонується проводити відносну оцінку якості продукту. За міру якості прийнято еталонний конденсатор 17, який шунтовано резистором 18, який призводить до електричних втрат. Параметри цих елементів обираються такими, щоб активні втрати відповідали нормі у 100% якісної шкали, тобто тангенс кута витрат міри із еталонного конденсатора 17 та резистора 18 на резонансній частоті ω_0 відображав би початкову (гарну) якість продукту, що зберігається. Якщо позначити

ємність еталонного конденсатора 17 через C_0' , а

опір резистора 18 - R_0' , то тангенс кута витрат якісного продукту

$$\operatorname{tg} \delta_{\text{я}} = 1 / \omega_0 R_0' C_0' \quad (13)$$

При цьому ємність еталонного конденсатора

17 C_0' вибирають рівною ємності електродів 2 та 3 холодильної камери 1. В цьому випадку активна складова комплексного опору міри якості відповідає активній складовій комплексного опору ємнісного датчика з якісним продуктом, що зберігається. Для поточної оцінки якості продукту, що зберігається, з нормою еталонна міра 17, 18 за

допомогою перемикачів 4 та 5 підключається до вимірювальної схеми. Результат вимірювання буде аналогічний (12):

$$\bar{U}_{11} = S_0 / \operatorname{tg} \delta_{\text{я}} \quad (14)$$

Відносну оцінку якості здійснюють за формулою

$$\eta = \frac{\bar{U}_{10} - \bar{U}_{11}}{\bar{U}_{11}} = \left(\frac{\bar{U}_{10}}{\bar{U}_{11}} - 1 \right) * 100 [\%] \quad (15)$$

де η - показник погіршення якості продукту, що зберігається.

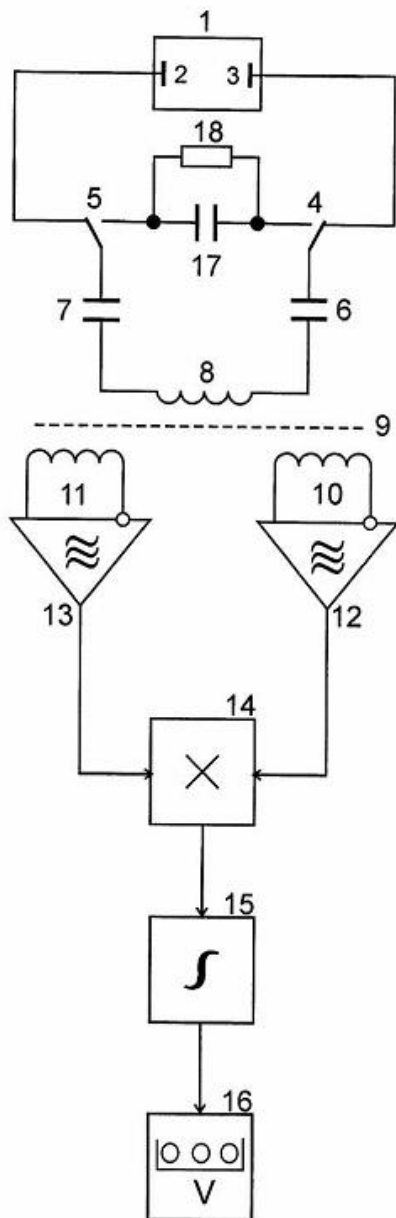
Підставивши в (15) значення напруг (12) і (14), отримаємо

$$\eta = (\operatorname{tg} \delta_m / \operatorname{tg} \delta - 1) * 100 [\%] \quad (16)$$

Так як витрати в продукті зростають, що відбиває погіршення якості замороженого продукту, то показник η має від'ємний знак та зростає. При цьому слід відмітити, що на значення показника погіршення якості η не впливає несталість всіх параметрів елементів вимірювальної схеми ($m, k_1, k_2, k_3, \omega_0, L_1, Q, C_0, T, \Delta f$). Крім того, повністю відсутній ефект розморожування.

Досліди показали, що в замороженому м'ясі (-20°C) діелектрична проникність на частоті 5-10 МГц має значення $\varepsilon' = 11-12$, а коефіцієнт витрат $\varepsilon'' = \varepsilon' \operatorname{tg} \delta = 1,5-2$. В процесі зберігання (6 місяців) через зневоднення продукту та порушення структури білків коефіцієнт витрат, а відповідно $\operatorname{tg} \delta$, знижується на 25-30%. При більш значному зберіганні спостерігається подальше збільшення показнику η . Вершкове масло за температури -10°C має діелектричні характеристики $\varepsilon' = 3,9$, а $\varepsilon'' = 0,36$. В процесі зберігання на протязі трьох місяців $\operatorname{tg} \delta$ знижується на 15-20%.

Для виділення теплових шумів використовується високочастотний діапазон (5-10 МГц), в якому елементи резонансного контуру мають мінімальні розміри та високу добротність (до 200-300), а для множення використано аналогову помножуючу мікросхему КМ525ПС3А. Підсилення шумових напруг здійснюється малошумлячими операційними підсилювачами 140УД1. Трьохобмоточний трансформатор для підвищення добротності первинної обмотки виконаний з феритовим осердям та проводом діаметру 0,5 мм. Перемикачі виконані на герконах, керуючі обмотки яких включені в ланцюг мультівібратора.



Φir.