

ВИМІРЮВАННЯ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

ІДЕНТИФІКАЦІЯ СВІЖОГО ТА РОЗМОРОЖЕНОГО М'ЯСА МЕТОДОМ ІМПЕДАНСНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ

IDENTIFICATION OF FRESH AND THAWED MEAT BY IMPEDANCE SPECTROSCOPY

*Походило Є. В., д-р техн. наук., проф., Флунт Н. Б., магістр
Національний університет "Львівська політехніка", Україна
e-mail: evgenp@meta.ua;*

*Yevhen Pokhodylo, Dr. Sc., Professor, Nazarij Flunt, master
e-mail: evgenp@meta.ua*

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03>.

Анотація. У роботі запропоновано спосіб ідентифікації свіжого та розмороженого м'яса методом імпедансної спектроскопії. Для цього вимірюють реактивні складові імпедансу або адмітансу на двох фіксованих частотах вибраного частотного діапазону для певного виду м'яса та аналізують отримані значення. Якщо значення реактивної складової імпедансу зростає, а значення реактивної складової адмітансу знижується із збільшенням частоти, то м'ясо ідентифікується як таке, що хоча б раз заморожувалося. Якщо ж навпаки, то м'ясо ідентифікують як свіже.

Ключові слова: реактивна складова, імпеданс, адмітанс, екстремальне значення, м'ясо, заморожування, якість.

Abstract. The freshness of the meat is one of the indexes of its quality. However, it is often frozen to be transported and stored. After unfreezing, it is offered to a consumer as a fresh one. Quality of that meat is worse, but the price is, mainly, identical to the cost of meat that wasn't frozen.

The method of authentication of both fresh and unfrozen meat is considered. The essence of this method lies in the analysis of reactive constituents of impedance or admittance of the multiport element with two ports which is attributed to the controlled parameters of meat. We have investigated the change of active and reactive constituents of impedance and admittance of fresh and unfrozen chicken meat in the frequency range of 100 Hz – 100 kHz. The difference of active constituent of fresh meat from the similar of the thawed meat consists only in the magnitude of the peaks in a certain frequency range.

The reactive constituent takes on an extreme value in the marked range for fresh meat. The reactive constituent of impedance droningly grows for the unfrozen meat and falls for admittance. This makes the main identification sign for the detection of meat's freezing. The considered method of impedance spectroscopy is applied for the analysis of meat of different quality descriptions, for instance, by comparing of impedance of the controlled sample to the impedance of sample of the known quality.

The difference in the offered method of authentication of fresh and thawed meats consists of analyzing the reactive constituents of impedance or admittance on the fixed frequencies of the chosen frequency range. The form of graphic dependence, in so doing, is the alteration of electric parameter of sample, namely the direction of change of reactive constituent on certain frequencies. It provides the invariance of the results to the different impacts.

Key words: Reactive constituent, Impedance, Admittance, Extreme value, Meat, Freezing, Quality.

Вступ

Одним із найважливіших показників м'яса є його свіжість. Короткотривалу свіжість м'яса забезпечують охолодженням. У такому вигляді, переважно, м'ясо пропонують споживачу в торговій мережі. Але буває і так, що м'ясо з метою довготривалого зберігання чи транспортування заморожують (однократно чи багаторазово), а потім його розморожують і продають як охолоджене. Як відомо [1], зміни в тканинах під час заморожування і зберігання у замороженому стані спричинені складним комплексом перетворень, які впливають на якість м'яса та м'ясопродуктів. У такому разі якість м'яса гірша, а ціна, переважно, однакова з м'ясом, що не заморожувалося. Отже, здійснюється фальсифікація продукції, зокрема м'ясної, а відповідно, порушується і

співвідношення "ціна–якість". Саме тому споживачу важливо знати про факт заморожування м'яса, оскільки свіже охолоджене м'ясо має кращі корисні та смакові властивості, ніж те, що підлягало заморожуванню. Для оцінювання якості м'яса та м'ясної продукції використовують, здебільшого, регламентовані та аналітичні методи; останнім часом пропонують експрес-методи, зокрема метод імпедансної спектроскопії [2, 3]. Разом з тим, якщо рівень свіжості м'яса під час зберігання з охолодженням визначають хоча б довготривалими і трудомісткими методами, то ідентифікація заморожування м'яса, окрім органолептичного методу (однак і він недосконалий, урахувуючи сучасні способи фальсифікації), взагалі не здійснюється. Тому актуальна пропозиція створення експрес-методу для виявлення

зазначеної фальсифікації продукції. Перспективним є метод імпедансної спектроскопії (зміна імпедансу м'яса залежно від частоти) для оцінювання якості м'ясної сировини [4–6]. Такий метод добре зарекомендував себе, зокрема в електрохімічному аналізованні речовин, біологічних дослідженнях (імпедансна мікробіологія), для контролю якості води [7], нафтопродуктів [8], ґрунтів [9].

Недоліки

Аналіз традиційних методів контролю якості м'яса показав, що для того, щоб дійти висновку щодо доброякісності м'яса (свіже, сумнівної свіжості, несвіже), його досліджують декількома методами [2, 3], тобто органолептичним, хімічним, мікроскопічним, гістологічним, електричним.

Регламентовані методи, які використовують для оцінювання м'ясної сировини, є довготривалими, малодоступними для масового споживача та не забезпечують оперативності контролю. Окремі дослідження доволі дорогі, орієнтовані лише на кваліфікований персонал та спеціальні лабораторії контролю якості продукції. Для реалізації та ширшого впровадження цього методу в практичну діяльність необхідною умовою є створення належної апаратної бази, яка би задовольняла такі вимоги, як достовірність та оперативність (експрес-контроль), можливість пересилання інформації у комп'ютер для подальшого опрацювання і зберігання, низька споживана потужність та невисока собівартість. Однак реалізація методу імпедансної спектроскопії для контролю якості м'ясної продукції потребує відповідного базового зразка, електричні характеристики якого порівнюють із контрольними зразками. Забезпечити інваріантність до впливу багатьох факторів впливу (температура, корми, вік тварини, тривалість зберігання в охолодженому стані тощо) неможливо. Це і є основним недоліком такого методу.

Мета роботи

Мета роботи – розробити спосіб оперативного контролю свіжості м'яса або оперативного виявлення заморожування м'яса; дослідити вплив багатократного заморожування на зміну електричних характеристик м'яса.

1. Реалізація методу імпедансної спектроскопії

1.1. Метод імпедансної спектроскопії для контролю якості

За методом імпедансної спектроскопії досліджують зміну параметрів імпедансу, яким подається об'єкт контролю, на фіксованих частотах широкого частотного діапазону. Переважно такими парамет-

рами є модуль та фазовий кут, що характеризують імпеданс [4–6]. При цьому порівнюють результати вимірювання зазначених параметрів контрольованого та базового зразків. У цій роботі запропоновано застосування методу імпедансної спектроскопії для ідентифікації свіжого та розмороженого м'яса за допомогою оцінювання зміни активних та реактивних складових імпедансу або адмітансу. У такому разі порівнюють складові імпедансу (імпедансу чи адмітансу) контрольованого об'єкта із відповідними складовими аналогічного об'єкта відомого рівня якості на декількох фіксованих частотах заданого частотного діапазону синусоїдального тестового сигналу фіксованого рівня. Таке порівняння можна виконати абсолютним або відносним методом [10], що просто реалізується електротехнічними засобами. За абсолютним методом матимемо різницю значень складових імпедансу та адмітансу на фіксованих частотах:

$$(X_1 - X_{01})_{f_1}, (X_2 - X_{02})_{f_2}, (X_3 - X_{03})_{f_3}, \dots, (X_n - X_{0n})_{f_n}, \quad (1)$$

$$(R_1 - R_{01})_{f_1}, (R_2 - R_{02})_{f_2}, (R_3 - R_{03})_{f_3}, \dots, (R_n - R_{0n})_{f_n}, \quad (2)$$

$$(B_1 - B_{01})_{f_1}, (B_2 - B_{02})_{f_2}, (B_3 - B_{03})_{f_3}, \dots, (B_n - B_{0n})_{f_n}, \quad (3)$$

$$(G_1 - G_{01})_{f_1}, (G_2 - G_{02})_{f_2}, (G_3 - G_{03})_{f_3}, \dots, (G_n - G_{0n})_{f_n}. \quad (4)$$

Відповідно за відносним методом маємо відношення тих самих складових:

$$\left(\frac{X_1}{X_{01}} \right)_{f_1}, \left(\frac{X_2}{X_{02}} \right)_{f_2}, \left(\frac{X_3}{X_{03}} \right)_{f_3}, \dots, \left(\frac{X_n}{X_{0n}} \right)_{f_n}, \quad (5)$$

$$\left(\frac{R_1}{R_{01}} \right)_{f_1}, \left(\frac{R_2}{R_{02}} \right)_{f_2}, \left(\frac{R_3}{R_{03}} \right)_{f_3}, \dots, \left(\frac{R_n}{R_{0n}} \right)_{f_n}, \quad (6)$$

$$\left(\frac{B_1}{B_{01}} \right)_{f_1}, \left(\frac{B_2}{B_{02}} \right)_{f_2}, \left(\frac{B_3}{B_{03}} \right)_{f_3}, \dots, \left(\frac{B_n}{B_{0n}} \right)_{f_n}, \quad (7)$$

$$\left(\frac{G_1}{G_{01}} \right)_{f_1}, \left(\frac{G_2}{G_{02}} \right)_{f_2}, \left(\frac{G_3}{G_{03}} \right)_{f_3}, \dots, \left(\frac{G_n}{G_{0n}} \right)_{f_n}, \quad (8)$$

де X_1, X_2, X_3, X_n та B_1, B_2, B_3, B_n – реактивні складові імпедансу та адмітансу розмороженого м'яса відповідно на частотах f_1, f_2, f_3, f_n ; $X_{01}, X_{02}, X_{03}, X_{0n}$ та $B_{01}, B_{02}, B_{03}, B_{0n}$ – реактивні складові імпедансу та адмітансу свіжого м'яса відповідно на частотах f_1, f_2, f_3, f_n .

Результати порівняння числових значень складових імпедансу, отримані за формулами (1), (2), (5), (6) або адмітансу за формулами (3), (4), (7), (8), аналізують. Якщо побудувати графічну залежність складових від частоти за виміряними значеннями, то аналізують відповідні складові контрольованого та базового зразків. За результатами аналізу приймають рішення щодо ідентифікації продукції.

1.2. Дослідження м'яса методом імпедансної спектроскопії

Для аналізування співвідношень активних та реактивних складових як імпедансу, так і адмітансу наведемо результати експериментальних досліджень курячого м'яса методом імпедансної спектроскопії, отримані в [10]. Зазначимо, що досліджувалися зразки свіжого та розмороженого курячого м'яса з використанням двоелектродного ємнісного сенсора та вимірювача параметрів імпедансу за заданого рівня напруги тестового сигналу в частотному діапазоні 100 Гц – 100 кГц.

Графічні залежності активних складових від частоти зображено на рис. 1, а реактивних складових – на рис. 2.

1.3. Аналіз результатів експериментальних досліджень

Як показує аналіз отриманих залежностей активної складової від частоти (рис. 1), вже після першого заморожування м'яса значення активної складової його імпедансу (рис. 1, а) знижується, тоді як адмітансу (рис. 1, б) зростає. Відмінності між результатами після кожного із трьох заморожувань неістотні як за амплітудними значеннями активних складових, так і за формою кривих. Разом з тим, значення активної складової розмороженого м'яса на кожній частоті значно більші від значень аналогічної складової свіжого м'яса. Така відмінність може бути ідентифікаційною ознакою для виявлення розмороженого чи свіжого м'яса, однак за конкретних умов вимірювання та певних вимог щодо об'єкта.

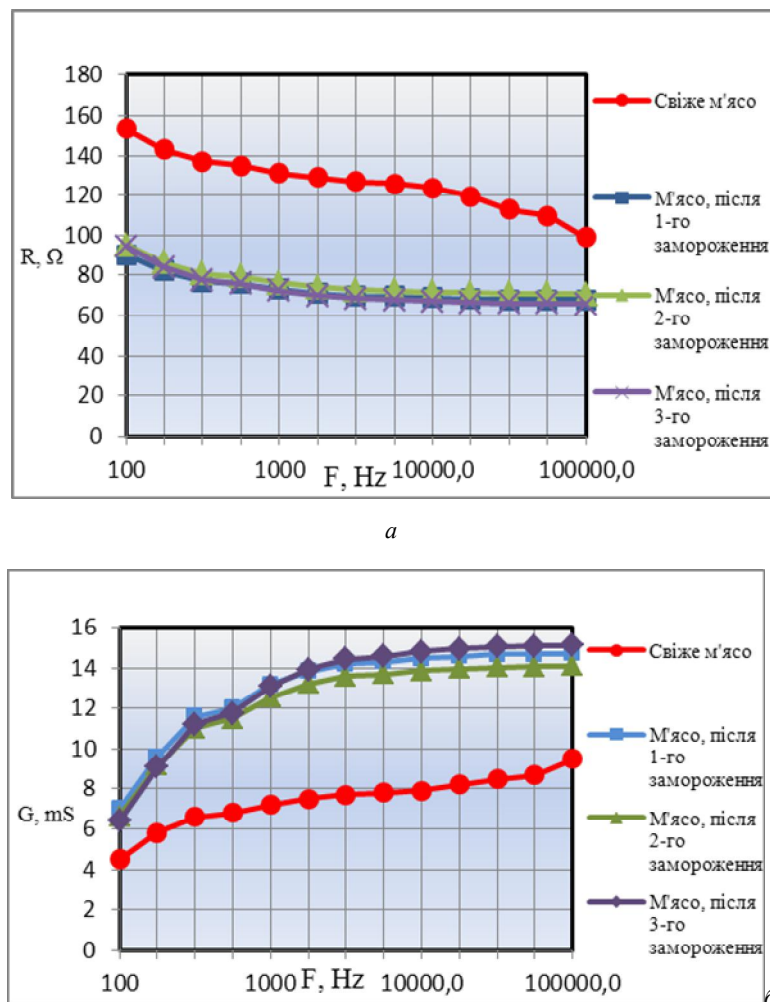
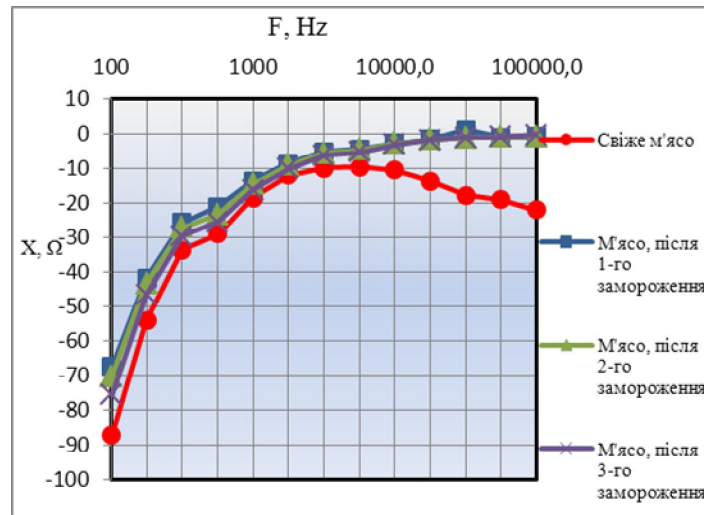
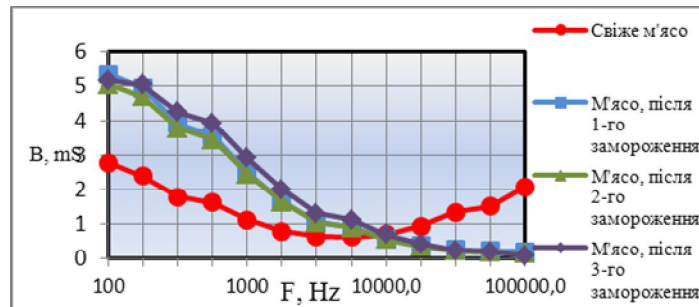


Рис. 1. Залежність активних складових імпедансу та адмітансу свіжого та розмороженого курячого м'яса від зміни частоти тестового сигналу

Fig. 1. Dependence of the active components of the impedance and admittance of fresh and defrosted chicken meat on the frequency change of the test signal



а



б

Рис. 2. Залежність реактивних складових імпедансу та адмітансу свіжого та розмороженого курячого м'яса від зміни частоти тестового сигналу

Fig. 2. Dependence of the reactive components of the impedance and admittance of fresh and defrosted chicken meat on the frequency change of the test signal

Аналізування реактивних складових як імпедансу, так і адмітансу від частоти (рис. 2) для свіжого м'яса порівняно із розмороженим має зовсім інший характер. Отже, якщо відмінності активних складових свіжого м'яса визначаються амплітудними значеннями активних складових (рис. 2, а), то відмінності реактивних складових таких видів м'яса полягають у зміні характеру кривих, що описують відповідні залежності складових від частоти (рис. 2, б). При цьому крива має явно виражене екстремальне значення для свіжого м'яса, а саме на певній частоті реактивна складова імпедансу максимальна, а реактивна складова адмітансу мінімальна. Тобто для свіжого м'яса реактивна складова імпедансу зі зростанням частоти до деякого значення збільшується, а потім зменшується. Для розмороженого м'яса вона лише наростає у такому самому частотному діапазоні. Подібна відмінність також між реактивними складовими адмітансу для свіжого та розмороженого м'яса, однак напрям їхніх змін протилежний. У такому разі, навіть якщо фактори впливу призведуть

до зміни амплітудних значень реактивної складової, то форма кривої не зміниться. Може незначно змінитися частота, на якій реактивна складова має екстремальне значення. Саме за такими відмінностями доцільно ідентифікувати свіже та розморожене м'ясо, оскільки забезпечується інваріантність результату до зміни амплітудних значень складової.

1.4. Спосіб ідентифікації свіжого та розмороженого м'яса

За результатами аналізу кривих, що відображають залежності реактивних складових імпедансу та адмітансу, видно, що у складових поза частотою, на якій є екстремальне значення, різний характер змін залежно від частоти. Якщо для свіжого м'яса реактивна складова імпедансу знижується, то для розмороженого зростає (рис. 2, а). Це саме стосується і реактивної складової адмітансу (рис. 2, б), але для свіжого м'яса вона зростає, а для розмороженого зменшується. Отже, за такої умови можна вибрати дві частоти вимірювання зазначених

складових імпедансу або адмітансу свіжого та розмороженого м'яса та порівняти їхні значення. Частоти вибирати необхідно поза частотою екстремального значення реактивної складової. Це і покладено в основу запропонованого способу ідентифікації свіжого та розмороженого м'яса.

Ілюстрацію запропонованого способу на основі аналізу отриманих експериментальних результатів (рис. 2) у разі вимірювання складових імпедансу подано на рис. 3, а, для адмітансу – на рис. 3, б. Криві 1 на рис. 3 відображають розморожене м'ясо, а криві 2 – свіже.

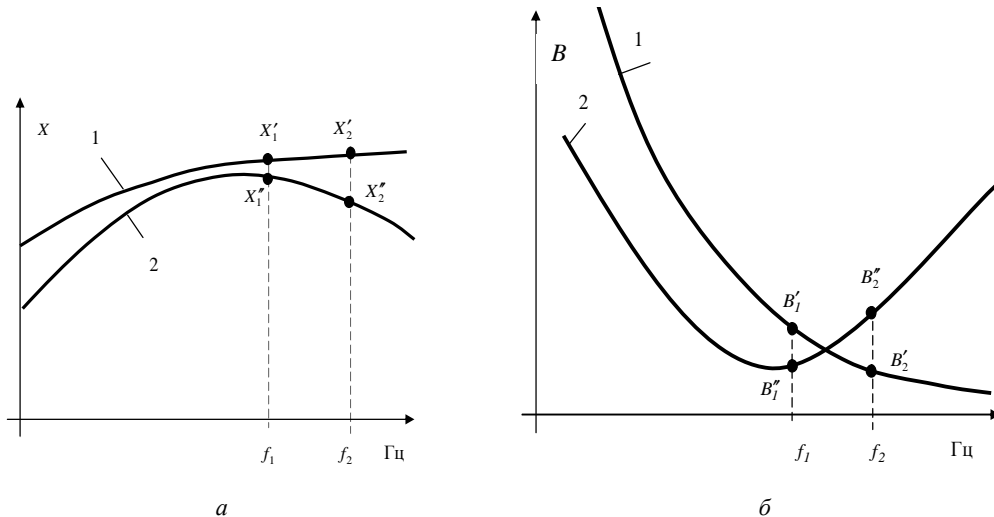


Рис. 3. Спосіб ідентифікації свіжого та розмороженого м'яса за реактивними складовими імпедансу та адмітансу

Fig. 3. Illustration of the method of identification of fresh and defrosted meat by the reactive components of the impedance and admittance

Базовим зразком у цьому випадку є крива залежності реактивної складової свіжого м'яса (крива 2). Реалізується запропонований спосіб так. Вимірюють реактивну складову X імпедансу або адмітансу B контрольованого м'яса на двох заздалегідь підібраних фіксованих частотах f_1 та f_2 . Отримують у результаті вимірювання на частоті f_1 для імпедансу значення X'_1 або X''_1 , а для адмітансу відповідно B'_1 та B''_1 . Аналогічно на частоті f_2 одержують значення X'_2 , X''_2 (рис. 3, а) або значення B'_2 та B''_2 (рис. 3, б). Проаналізуємо залежності. Якщо значення X'_2 реактивної складової імпедансу на частоті f_2 (рис. 3, а) більше за X'_1 на частоті f_1 , тобто виконується умова $(X'_2)_{f_2} > (X'_1)_{f_1}$, то таке м'ясо ідентифікують як розморожене. Якщо ж виконується умова $(X''_2)_{f_2} < (X''_1)_{f_1}$, то м'ясо ідентифікують як свіже. Аналогічним є аналіз реактивної складової адмітансу. За умови $(B'_2)_{f_2} < (B'_1)_{f_1}$ м'ясо ідентифікується як розморожене, а за умови $(B''_2)_{f_2} > (B''_1)_{f_1}$ – як свіже. Такі залежності можуть бути покладені в основу побудови вимірювального засобу для ідентифікації свіжого та розмороженого м'яса.

2. Нетрадиційний базовий зразок для контролю якості

У нормативно-технічній документації для продукції неелектричної природи базовий зразок прийнято характеризувати сукупністю неелектричних параметрів. Проте, аналізуючи тенденцію, яка склалась за кордоном та в Україні щодо розвитку і застосування методу імпедансної спектроскопії, можна зробити певні прогнози. Надалі технічні вимоги і нормативно-технічну документацію необхідно розширити і доповнити із урахуванням вимог щодо методу імпедансної спектроскопії якості продукції. Застосування останнього для ідентифікації свіжого та розмороженого м'яса показало: залежності реактивної складової у частотному діапазоні дають змогу використати нетрадиційний підхід до оцінювання якості продукції. Замість встановлених значень показників якості запропоновано використовувати зміну форми кривої реактивної складової імпедансу або адмітансу контрольованого об'єкта щодо аналогічної кривої стандартного (базового) зразка. Цим забезпечується інваріантність результату до багатьох чинників впливу.

Висновки

1. Дослідження імітансним методом багатократно заморожуваних та розморожуваних зразків

м'яса показало, що перше замороження практично не змінює характеристик м'яса. Встановлено, що за зміною складових імпедансу або адмітансу можна виявляти свіже м'ясо або факт його заморожування. Це можна використати для розроблення засобу експрес-контролю якості м'яса.

2. Запропонований спосіб ідентифікації свіжого та розмороженого м'яса дає змогу використати для порівняння нетрадиційний стандартний зразок як базовий; порівняння здійснюється за формою частотної залежності реактивної складової імпедансу або адмітансу.

Подяка

Автори висловлюють вдячність колективу кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету "Львівська політехніка" за надану допомогу та всебічне сприяння у підготовці та виконанні цієї роботи.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність будь-якого фінансового або іншого можливого конфлікту, що стосується роботи.

Література

- [1] М. Янчева, Л. Пешук, О. Дроменко, *Фізико-хімічні та біохімічні основи технології м'яса та м'ясо-продуктів*. Київ, Україна: ЦУЛ, 2009.
- [2] А. Алейников, И. Пальчикова, Ю. Чугуй, "Класифікація методів оцінки свіжості м'ясного сир'я", на *международ. научн.-практ. конф. "Информационные технологии, системы и приборы в АПК"*, Новосибирск, Россия, с. 63–68, 2012.
- [3] О. Любчик, М. Микийчук, О. Гонсьор, "Аналіз шляхів удосконалення методів ідентифікації видів м'яса", *Вимірювальна техніка і метрологія*, вип. 75, с. 63–68, 2014.
- [4] А. Алейников, В. Глянєнко, И. Пальчикова, Ю. Чугуй, "Применение метода импедансной спектроскопии при оценке качества мясного сырья", на *международ. научн.-практ. конф. "Информационные технологии, системы и приборы в АПК"*, Новосибирск, с. 167–174, 2012.
- [5] Німецькі вчені навчилися виявляти лежале м'ясо. *Ветеринарна медицина України*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://vet.in.ua/menu/news.php?id_article=419
- [6] О. Щебетовська, "Визначення свіжості курячого м'яса методом імпедансної спектроскопії", *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*, том 13, вип. 4(4), с. 352–358, 2011.

[7] Н. Мартинович, "Метод вимірювання твердості води за параметрами імітансу та його метрологічне забезпечення", автореф. дис. канд. техн. наук, Нац. університет "Львівська політехніка", Львів, 2012.

[8] Н. Плахтій, Ідентифікація автомобільних бензинів за параметрами імітансу, автореф. дис. канд. техн. наук, НУ "Львівська політехніка", Львів, 2012.

[9] Т. Бубела, П. Малачівський, Є. Походило, М. Микийчук, О. Воробець, "Математичне моделювання кислотності ґрунту за параметрами провідності", *Східно-Європейський журнал підприємницьких технологій*, вип. № 6/10 (84), с. 4–9, 2016.

[10] Є. Походило, О. Вікович, "Контроль свіжості м'яса за параметрами імітансу", *Стандартизація, сертифікація, якість*, вип. 1 (86), с. 45–48, 2014.

References

- [1] M. Yancheva, L. Peshuk, O. Dromenko, *Physico-chemical and biochemical foundations of meat and meat products technology*. Kyiv, Ukraine: TSUL, 2009.
- [2] A. Aleynikov, I. Palchikova, Y. Chugui, "Classification of freshness assessment methods for meat raw materials" in *Proc. of Int. Sc.-Pract. Conf. Inf Technologies, Systems and Devices in AIC*, Novosibirsk, RF, 2012, pp. 63–68.
- [3] O. Lyubchik, M. Mykyychuk, O. Gonsor, "Analysis of ways of improving methods of identification of meat species", *Measuring Equipment and Metrology*, iss. 75, pp. 63–68, 2014.
- [4] A. Aleynikov, V. Glyanenko, I. Palchikova, Y. Chugui, "The use of the method of impedance spectrometry in assessing the quality of raw meat", in *Proc. of Int. Sc.-Pract. Conf. Inf Technologies, Systems and Devices in AIC*, Novosibirsk, RF, pp. 167–174, 2012.
- [5] German scientists have learned to detect unconditioned meat. *Veterinary medicine of Ukraine*. [Online]. Available: http://vet.in.ua/menu/news.php?id_article=419
- [6] O. Shchetovska, "Determination of freshness of chicken meat by impedance spectroscopy", *Sc. Bull. of LNUVM named by S. Gzycki*, vol. 13, no. 4(4), pp. 352–358, 2011.
- [7] N. Martynovych, "Method of Measurement of Water Hardness by Imitance Parameters and Its Metrological Provision", PhD thesis, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, 2012.
- [8] N. Plachtiy, "Identification of motor gasoline according to the parameters of imitation", PhD thesis, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, 2012.
- [9] T. Bubela, P. Malachivsky, E. Pokhodylo, M. Mykyychuk, O. Vorobets, "Mathematical Modeling of Soil Acidity by Conductivity Parameters". *Eastern Europ. J. of Entrepreneurial Techn*, no.6/10 (84), pp.4-9, 2016.
- [10] Ye. Pokhodylo, O. Vikovych, "Meat Freshness Control by Imitation Parameters", *Standardization, certification, quality*, no.1(86), pp.45-48, 2014.