

Калініченко А. О.,
аспірант, Національний університет харчових технологій, м. Київ,
Арсеньєва Л. Ю.,
д.т.н., проф. кафедри експертизи харчових продуктів, Національний університет харчових технологій, м. Київ,
Пушкарьова Я. М.,
к.х.н., доц. кафедри експертизи харчових продуктів, Національний університет харчових технологій, м. Київ.

ВИКОРИСТАННЯ “ЕЛЕКТРОННОГО НОСУ” ДЛЯ ЕКСПРЕСНОГО ВИЯВЛЕННЯ ФАЛЬСИФІКАЦІЇ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ СОЄВИМИ ПРОДУКТАМИ

Анотація. В статті розглядається можливість використання “електронного носу” для виявлення фальсифікації ковбасних виробів соєвими продуктами. Досліджено в статичних умовах зміни якісного та кількісного складу летких сполук варених ковбас та соєвих продуктів протягом зберігання масивом н’єзо-сенсорів. Запропоновано за кінетичними “візуальними відбитками” та “візуальними відбитками” максимальних сигналів проводити ранжування зразків (наявність або відсутність соєвих продуктів у варених ковбасах). Оброблення параметрів н’єзокварцового мікрозважування проводили імовірнісною нейронною мережею. Алгоритм оброблення площ під хроночастотограмами семи сенсорів масиву з використанням імовірнісної нейронної мережі можна рекомендувати для надійного визначення вмісту соєвих продуктів у варених ковбасних виробках. Зміни газової фази в процесі зберігання продукції були враховані в алгоритмі оброблення імовірнісною нейронною мережею.

Ключові слова: “електронний ніс”, варені ковбаси, соєвий ізолят, фальсифікація, леткі сполуки, “візуальні відбитки”, імовірнісна нейронна мережа.

Kalinichenko A. A.,
Postgraduate, National University of Food Technologies, Kyiv,
Arseniyeva L. U.,
Doctor of Engineering, Prof., Professor of the Foodstuff Expertise Department, National University of Food Technologies, Kyiv,
Pushkarova Ya.N.,
Ph.D, Associate Professor, Associate Professor of the Foodstuff Expertise Department, National University of Food Technologies, Kyiv

“ELECTRONIC NOSE” FOR EXPRESS DETECTION OF ADULTERATION OF COOKED SAUSAGES BY SOY PRODUCTS

Abstract. This paper reports the possibility of using an “electronic nose” for detection of soy products adulteration in sausages. A system based on a quartz microbalance sensor array and static headspace sampling was used for the injection of the volatile compounds coming from the sausages and soy products during the storage. This paper presents a novel approach to ranking samples (presence or absence of soy products in cooked sausages) by kinetic “visual fingerprints” and “visual fingerprints” of sensors peak signals. Data analysis was performed by probabilistic neuronal network (PNN). The model for determining of soy products in sausages built by means of probabilistic neuronal network gave a great classification performance by considering just the intrinsic area under responses of seven sensors. Changes in the gas phase during storage were included in the algorithm processing by probabilistic neural network.

Keywords: “electronic nose”, cooked sausages, soy-protein isolate, adulteration, volatiles, “visual fingerprints”, probabilistic neural network.

Постановка проблеми. В рецептурі варених ковбасних виробів вищого сорту, відповідно до стандарту [1, с. 12], не повинні міститися соєві продукти. Ковбаси нижчих сортів можуть містити від 10 до 20% соєвих продуктів. Через високу вартість якісної м'ясної сировини, використання некондиційної сировини, для поліпшення реологічних характеристик та здешевлення собівартості товару виробник замінює м'ясну сировину соєвими продуктами, маскуючи заміну підсилювачами смаку та аромату. При цьому, в яких співвідношеннях цінні компоненти сировини замінюються на малоцінні, виробники не вказують.

Соєві продукти (ізолят, концентрат), які не містять у своєму складі крохмалю, ідентифікують гістологічним методом [2, с. 1-11], ПЛР-аналізом послідовності промотора 35S, присутність якої свідчить про наявність генетичної модифікації геному сої [3, с. 1-30], методом електрофорезу [4, с. 1-12], імунохроматографічним аналізом [5]. Недоліками цих методів є багата стадійна підготовка проби, складне апаратне оформлення, коштовні реактиви або неможливість визначення масового вмісту соєвих компонентів. Відсутність експрес-способів і методик виявлення та визначення вмісту соєвих продуктів у м'ясних виробках робить неможливим ефективний моніторинг ринку товарів протягом усього їх життєвого циклу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для встановлення ідентичності та відмінностей у складі харчових продуктів широко застосовуються інтелектуальні системи з методологією “електронний ніс”, “електронний язик”. Методологія цих систем – інтегральна оцінка складу об'єкта аналізу без попереднього розділення суміші з використанням масиву сенсорів із перехресною чутливістю до окремих сполук або класів речовин.

На сьогодні газоаналізатори з методологією “електронний ніс” були застосовані для асортиментної ідентифікації шинки [6, с. 418-422] та походження м'ясної сировини (диференціація виробів із іберійських свиней від інших) [7, с. 279-287], моніторингу технологічних процесів, а саме: визначення ступеня в'ялення та псування хамону [8, с. 537-540], об'єктивізації органолептичної оцінки м'ясних виробів, дослідження впливу рецептурних комбінацій на формування запаху виробу, визначення псування ковбасних виробів [9, с. 313-323], оцінки якості та безпечності м'ясної сировини (яловичини, свинини, м'яса овець, м'яса індички) під час зберігання в різних умовах [10, с. 142-156; 11, с. 99-103; 12, с. 381-389; 13, с. 1612-1618], в тому числі замороженого м'яса [14, с. 78-84].

“Електронний ніс” на базі матриці селективних до легколетких сполук харчового продукту може диференціювати найменші зміни якісного та кількісного складу газової фази порівняно з базою еталонних зразків. До основних летких маркерів соєвих продуктів, які формують специфічний соєвий запах, відносяться: метантіол, диметилтрисульфід, гексаналь, 1-гексанол, 2-пентилфуран, 2-пентилпу-

рідин, 2,3-бутандіон, 1-октен-3-ол, транс-2-4-декадіеналь, транс-2-4-нонадіеналь, транс-2-ноненаль, ацетофенон [15, с. 39-40; 16, с. 819-821]. Більшість із цих сполук є метаболітами мікроорганізмів, пригнітаними соєвим продуктам [17, с. 1113-1124].

Треба зауважити, що свіжі соєві продукти, навіть найбільш очищені, такі як концентрат та ізолят, містять у своєму складі окиснені транс-альдегіди, які чинять токсичну дію на організм людини. Дані сполуки були ідентифіковані в значних кількостях в окиснених оліях [18, с. 1093-1101], а також присутні в окиснених тваринних жирах [19, с. 18-25]. У соєвих продуктах транс-альдегіди, ймовірно, утворюються під час технологічного оброблення сировини (спиртової, лужної, сольової екстракції, кислотної промивки, гарячої промивки та денатурації протеїну тощо) [20, с. 213-224].

Постановка завдання. Мета дослідження: дослідити склад рівноважної газової фази над вареними ковбасами та соєвими продуктами, в тому числі під час зберігання, і оцінити можливість виявлення фальсифікації варених ковбас соєвими продуктами за сигналами різноселективних сенсорів “електронного носу”; обґрунтувати використання експериментальних параметрів сорбційної взаємодії летких речовин із тонкими плівками сенсорів за результатами п'єзокварцового мікрозважування для ідентифікації ковбасних виробів із використанням імовірнісної штучної нейронної мережі (Probabilistic neural network, PNN).

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводили на аналізаторі газів “МАГ-8” (ТОВ “СенТех”, м. Воронеж) за методологією “п'єзоелектронний ніс”. Як сорбційні покриття п'єзосенсорів обрані хроматографічні фази, різні за природою, селективні по відношенню до індивідуальних тест-речовин та груп летких сполук соєвих та м'ясних продуктів: поліетиленгліколь себацінат (PEGseb), поліетиленгліколь адипінат (PEGad), дициклогексан-18-краун-6 (DCG18k6), тритон X-100 (TX-100), поліетиленгліколь 2000 (PEG-2000), полідиетиленгліколь сукцинат (PDEGsuc), полівінілпіролідон (PVP).

Досліджували динаміку зміни якісного та кількісного складу рівноважної газової фази (РГФ) над модельними зразками вареної ковбаси “Лікарської” вищого сорту (в. с.) та спеціально виготовлених фальсифікатів із вмістом соєвого ізоляту (СІ) 10, 20, 30, 100 % мас. Зразки зберігали за температури 20 ± 1 °С протягом 4 діб. Відбирали рівноважні пари над середніми пробами масою $5 \pm 0,1$ г методом дискретної газової екстракції кожні 6 год. Індивідуальним шприцем відбирали 3 см^3 РГФ з пробовідбірника об'ємом 60 см^3 та вводили в комірку детектування “електронного носу”, час детектування – 60 с. В комірці детектування леткі пари розбавляються в 60 раз. В таких умовах детектуються мікроконцентрації летких речовин у РГФ, масова чутливість п'єзокварцового мікрозважування для

досліджуваних систем залишається постійною в широкому діапазоні розбавлення.

В програмному забезпеченні MAG-Soft реєстрували параметри сорбції: площі під хроночастотограмами одиничних сенсорів, які вказують на залежність зміни частоти коливань п'єзосенсора від часу з кроком реєстрації 1 с та роздільною здатністю за частотою 1 Гц (S_i , Гц*с); максимальні зміни частот коливання кварцових пластин у результаті сорбції компонентів РГФ над досліджуваним об'єктом на тонких плівках сорбентів (ΔF_{\max} , Гц); кінетичні “візуальні відбитки” (ВВ), які формуються з одиничних відгуків сенсорів у певний момент часу, та максимальні “візуальні відбитки”, формуються за максимальними сигналами сенсорів, та їх площі ($S_{\text{ВВ}}$, Гц²). Всі використовувані параметри та аналітичні сигнали перевірені на статичну надійність ($P = 0,95$, $N = 3$).

Під час аналізу складу РГФ в процесі зберігання ковбасних виробів отримали максимальні (рис. 1) та кінетичні “візуальні відбитки” (рис. 2). За “візуальними відбитками” оцінювали наявність або відсутність соєвих компонентів у ковбасних виробих. Для збільшення інформативності сенсорів та наочності сумарної матриці даних відключили універсальний полярний п'єзосенсор з покриттям PVP, який активно реагує на вологість ковбасних виробів.

зразка – ступінь ідентичності, розрахований у програмному забезпеченні MAG-Soft від 55 до 65 %. Дані зразки мають схожу геометрію ВВ з соєвим зразком з 100 % вмістом соєвого ізоляту. Визначити притнність соєвого ізоляту, починаючи з 20 % заміни м'ясної сировини за “візуальним відбитком” максимумів можливо як у свіжій продукції (рис.1, а), так і під час зміни РГФ протягом зберігання, а також у продукції, мікробіологічні показники якої за межами норми (рис. 1, б). Геометрія “візуального відбитку” контрольного та фальсифікованих модельних зразків стає більш вираженою протягом зберігання продукції, адже за сумарним вмістом легких речовин можна з високим ступенем дискретності слідкувати за перебігом мікробіологічних та хімічних реакцій у продукті [21, с. 7-22].

Особливості взаємодії окремих сполук із плівок покриттів сенсорів більшою мірою проявляються протягом сорбції в часі, відображаються в хроночастотограмах і, як наслідок, на кінетичних “візуальних відбитках” (рис. 2). Ковбасні вироби характеризуються швидким розвитком сорбції протягом 30 с після інжекції РГФ в комірку детектування та подальшою, більш повільною, накопичувальною сорбцією легких сполук сенсорами, тому кінетичний ВВ побудовано для часу активної сорбції.

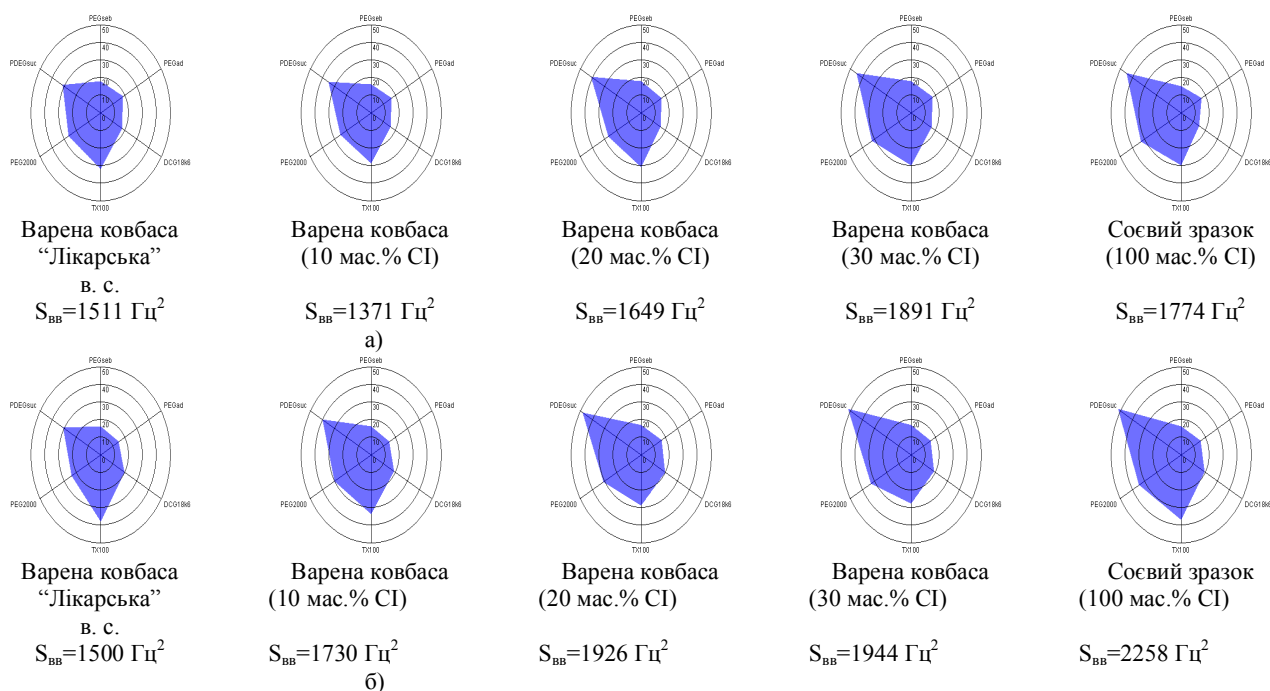


Рис. 1. “Візуальні відбитки” максимальних сигналів масиву сенсорів у РГФ над ковбасними виробами на першу (а) та четверту (б) добу зберігання за температури 20 ± 1 °C та їх площі

Встановлено, що за формою “візуальних відбитків” максимумів неможливо виявити присутність соєвого ізоляту на рівні 10 % заміни м'ясною сировини. Для проб з 20 та 30 % соєвого ізоляту геометрія “візуального відбитку” максимальних сигналів значно відрізняється від контрольного

Встановлено, що контрольним зразкам вареної ковбаси “Лікарської” притаманні “візуальні відбитки” з роздвоєними гострими піками як у перший день зберігання, коли мікробіологічні показники в межах норми (рис. 2, а), так і при зміні РГФ під час псування (рис. 2, б). Це пояснюється активною

сорбцією двох сенсорів із покриттями PDEGsuc та TX-100, на відміну від інших сенсорів масиву. Під час зберігання відклики сенсора з покриттям TX-100 збільшується, на відміну від зразків із заміною м'ясної сировини на соєвий ізолят. Більш виразно це помітно в початкові моменти сорбції на 10, 12 та 14 с з моменту інжекції РГФ в комірку детектування.

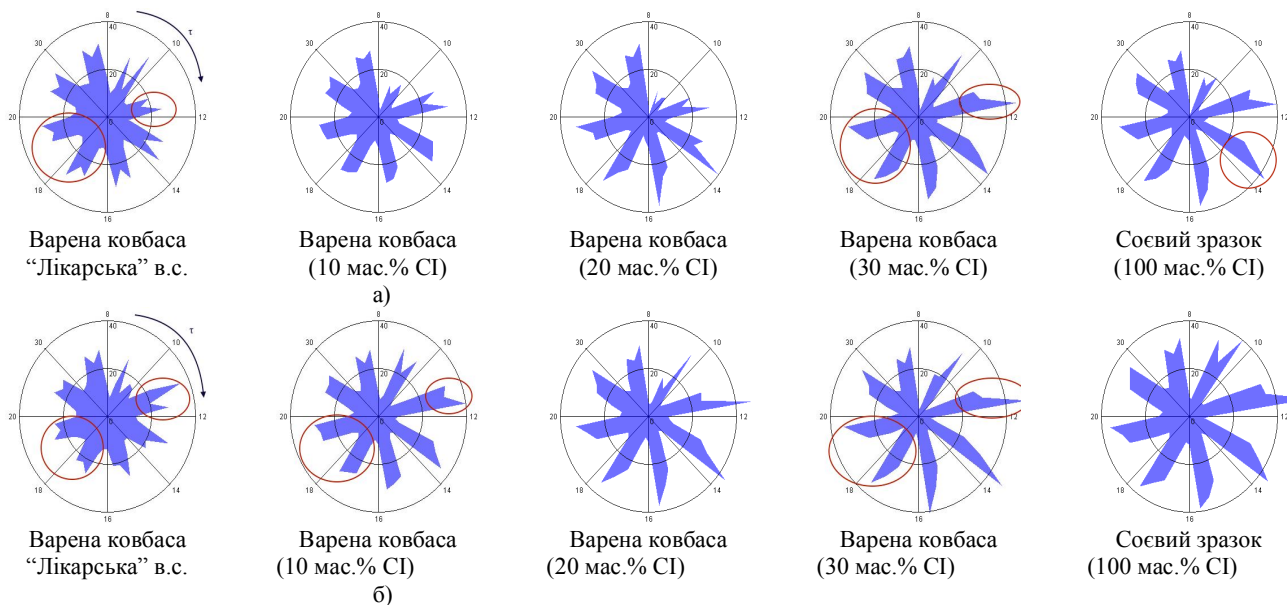


Рис. 2. Кінетичні “візуальні відбитки” ковбасних виробів із різним вмістом соєвого ізоляту на першу (а) та четверту (б) добу зберігання

Зразки з масовим вмістом соєвого ізоляту 10, 20, 30 % мають притаманні соєвому зразку з 100 % вмістом СІ скошені піки, що пояснюється селективністю сенсорів із покриттями PDEGsuc, PEGseb та PEG-2000 до легких сполук маркерів соєвих сполук. Скошеність піків “візуальних відбитків” стає більш виразною під час псування ковбасних виробів із соєвим ізолятом за рахунок збільшення відгуків сенсора з покриттям PDEGsuc. Ступінь ідентичності проб за кінетичними “візуальними відбитками” знаходиться в межах 61-70 %.

Встановлено, що за кінетичними особливостями сорбції легких сполук маркерів м'ясних та соєвих продуктів на тонких плівках сенсорів із перекресною чутливістю можна виявити присутність соєвих компонентів на рівні 10% за формою кінетичного “візуального відбитку”.

Для визначення вмісту соєвих компонентів у варених ковбасних виробках та класифікації зразків за їх ознаками використовували штучні нейронні мережі, що характеризуються адаптивною архітектурою та здатністю до навчання.

Для оцінки кількісних змін у складі РГФ під час заміни м'ясної сировини на соєвий ізолят застосовували максимальні сигнали сенсорів (ΔF_{\max} , Гц) та площі під хроночастотограмами сенсорів (S_i , Гц*с), які пропорційні масі речовин, адсорбуючих на плівках за час вимірювання. Досліджуваний масив даних містив 35 зразків варених ковбасних виробів, поділених на 5 класів (груп) залежно від

вмісту соєвого ізоляту: 1 клас – зразки вареної ковбаси “Лікарської” в. с., 2 клас – зразки з 10 мас. % соєвого ізоляту, 3 клас – зразки з 20 мас. % СІ, 4 клас – зразки з 30 % СІ, 5 клас – зразки з 100 % соєвого ізоляту.

Перед тим, як описувати кількісні дані, оцінюють ступінь наближеності розподілу експериментальних даних до нормального розподілу. Нормаль-

ний (Гаусовий) розподіл даних є обов'язковою умовою для використання параметричних критеріїв та методів. Під нормальним розподілом розуміють симетричний розподіл форми дзвону, в якому близько 68 % відрізняється від середнього арифметичного не більше ніж на одне, а приблизно 95 % – не більше ніж на два стандартних відхилення в кожену сторону. За критерієм Колмогорова-Смірнова площі під хроночастотограмами сенсорів S_i відповідають нормальному розподілу даних, на відміну від максимальних сигналів сенсорів ΔF_{\max} . Характерною рисою розподілу, відмінного від нормального, є несиметричність по відношенню до середнього значення розподілу ознаки (“скошеність”) або наявність, вочевидь, значень, що вибиваються із загальної картини. Розподіл, відмінний від нормального, прийнято описувати за допомогою медіани та інтерквартильного розмаху [22, с. 59-61]. Нейронні мережі відносяться до методів оброблення даних, для яких не є критичним розподіл даних, відмінний від нормального.

Для оброблення багатовимірного масиву даних від семи сенсорів з метою ідентифікації класів зразків застосували імовірнісну нейронну мережу (Probabilistic neural network, PNN). Для реалізації алгоритмів використали програмний пакет Matlab R2014b.

Імовірнісна нейронна мережа характеризується простою архітектурою і забезпечує високу надійність класифікації зразків “з навчанням” [23,

с. 1318-1327]. Вхідний шар мережі не виконує розрахунків і слугує для прийому та передачі вхідних векторів (досліджуваного масиву даних із семи сенсорів) наступному (прихованому або проміжному) шару нейронів. Кількість нейронів вхідного шару визначається кількістю параметрів сорбційної взаємодії летких речовин із тонкими плівками сенсорів за результатами п'єзокварцового мікрозважування. Проміжний шар нейронів містить по одному нейрону для кожного зразка з навчальної вибірки. Вихідний конкуруючий шар містить п'ять нейронів, що дорівнює кількості класів, на які поділяли досліджуваний масив даних із 35 зразків. Конкуруючий шар підраховує імовірність приналежності вхідного вектора до того чи іншого класу. Імовірнісна нейронна мережа має прихований шар нейронів із радіально-симетричною функцією активації:

$$F = e^{-\left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - w_{ij})^2}}{2\delta}\right)^2}, \quad (1)$$

де x_i – числові характеристики об'єкта (вхідний вектор), δ – відхилення функції, w_{ij} – вагові коефіцієнти нейронів, кількість яких визначається кількістю зразків у навчальній вибірці. Для реалізації PNN необхідно визначити лише оптимальне значення відхилення Гаусової функції, або ступеня згладжування (δ).

Досліджувані масиви даних випадковим чином поділяли на навчальну та тестову вибірки різної кількості зразків. Під оптимальним об'ємом навчальної вибірки розуміли таке число зразків, яке забезпечувало 100 % надійність класифікації зразків тестової вибірки. Коефіцієнт $T, \%$ показує, яка частка зразків від їх загального числа знаходиться в навчальній вибірці:

$$T = \frac{H}{M} \cdot 100 \% \quad (2)$$

де M – загальне число зразків, H – число зразків навчальної вибірки.

В роботі ненадійність класифікації оцінювали як частку неправильно класифікованих зразків тестової вибірки:

$$P = \frac{n}{N} \cdot 100 \% \quad (3)$$

де n – число неправильно класифікованих зразків тестової вибірки, N – загальне число зразків тестової вибірки. Надійність (Reliability) класифікації:

$$\text{Reliability} = 100 - P \quad (4)$$

Далі під ненадійністю класифікації розуміється середнє значення ненадійності класифікації для трьох різних пар навчальної та тестової вибірок.

Для адекватної ідентифікації зразків варених ковбас із використанням площ під хроночастотограмами різноселективних сенсорів S_i , значенням яких притаманний великий розмах, попередньо проводили автомасштабне перетворення даних:

$$x_i^{norm} = \frac{x_i - \bar{x}}{S(x)}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

де x_i^{norm} – безрозмірне значення характеристики для i -го зразка, отримане внаслідок автомасштабного перетворення, x_i – вихідне значення характеристики для i -го зразка, \bar{x} – середнє значення характеристики в зразках, $S(x)$ – стандартне відхилення значень характеристики в зразках, N – число зразків.

Отримані результати представлено у таблиці.

Таблиця

Результати ідентифікації зразків варених ковбас за допомогою параметрів “електронного носу” та імовірнісної нейронної мережі

Параметри сорбції	$T, \%$	Відхилення функції δ	$P, \%$	Надійність, %
ΔF_{\max} семи сенсорів масиву	77	0,3 – 1,0	25 (2 зразка)	75
S_i семи сенсорів масиву	83	0,5 – 0,9	0	100

Встановлено, що у випадку використання для ідентифікації зразків максимальних сигналів (ΔF_{\max}) від семи сенсорів масиву надійність класифікації становить 75 %, PNN не розрізняє зразки з 20 % та 30 % соєвого ізоляту, що є допустимим для виявлення фальсифікації вареної ковбаси в. с., але не розв'язує задачу визначення вмісту соєвого ізоляту в варених ковбасах 3 сорту (20 % заміни м'ясної сировини на соєві продукти) та фальсифікованій продукції.

Використання площ під хроночастотограмами кожного з семи сенсорів масиву дасть змогу надійно ідентифікувати зразки ковбасних виробів та визначити вміст соєвих продуктів у варених ковбасах.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Розроблено спосіб експресного виявлення фальсифікації варених ковбасних виробів соєвими продуктами за основними параметрами сорбційної взаємодії летких речовин із тонкими плівками сенсорів “електронного носу” за результатами п'єзокварцового мікрозважування. Запропоновано за “візуальними відбитками” сигналів “електронного носу” проводити ранжування проб на дві групи, в яких наявні або відсутні соєві компоненти у варених ковбасах, за максимальними “візуальними відбитками” на рівні 20% заміни м'ясної сировини, за кінетичними “візуальними відбитками” – починаючи з 10% заміни м'ясної сировини.

Застосування імовірнісної нейронної мережі для оброблення кількісних параметрів “електронного носу” дає змогу максимально диференціювати проби за класами. Алгоритм оброблення площ під хроночастотограмами семи сенсорів масиву з використанням імовірнісної нейронної мережі можна рекомендувати для визначення вмісту соєвих продуктів у варених ковбасних виробках протягом всього життєвого циклу товару.

В подальших дослідженнях планується провести хроматографічний та хромато-мас-спектрометричний аналіз газової фази варених ковбас та соєвих продуктів у процесі зберігання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ковбаси варені, сосиски, сардельки, хліби м'ясні: ДСТУ 4436-2005. – Чинний від 2006–07–01. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 32 с. – (Національні стандарти України).

2. Мясо и мясные продукты. Метод гистологической идентификации состава: ГОСТ Р 51604-2000. – Введён в действие 2000–05–12. – М. : Госстандарт России, 2000. – 11 с.

3. Прошкин Л. В. Ветеринарно-санитарная экспертиза и методы определения качества и безопасности колбасных изделий: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. вет. наук: спец. 06.02.05 “Ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная экспертиза” / Л. В. Прошкин. – СПб., 2011. – 30 с.

4. Мясо и мясные продукты. Определение массовой доли растительного (соевого белка) методом электрофореза: ГОСТ Р 53220-2008. – [Введён в действие 2010–01–01]. – М. : Стандартинформ, 2009. – 12 с.

5. ХЕМАтест “СоЯ” [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://xematest.com/catalog/4/8/>. – 4.06.2015 р.

6. García M.; Aleixandre, M.; Gutiérrez, J.; Horrillo, M. C. Electronic nose for ham discrimination. *Sens. Actuators B.* – 2006. – Vol. 114. – pp. 418-422.

7. Gonzalez-Martin, I.; Perez-Pavon, J. L.; Gonzalez-Perez, C.; Hernandez-Mendez, J.; Alvarez-Garcia, N. Differentiation of products derived from Iberian breed swine by electronic olfactometry (electronic nose) / // *Anal. Chim. Acta.* – 2000. – Vol. 424. – pp. 279-287.

8. Garcia M. Electronic nose for the identification of spoiled Iberian hams / M. Garcia, M. Aleixandre, M. C. Horrillo // *Spanish Conference on Electron Devices, Tarragona, Spain; IEEE: New York.* – 2005. – pp. 537-540.

9. Кучменко Т. А. Сравнительная оценка возможностей интегрального и дифференциального анализаторов газа типа “электронный нос” для исследования мясных продуктов / Т. А. Кучменко, Д.А. Погребная // *Аналитика и контроль.* – 2011. – Т. 15. – №3. – С. 313-323.

10. Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as an alternative technique for the spoilage classification of red meat / [N. El. Barbri, E. Llobet, N. El Bari and other] // *Sensors.* – 2008. – No. 8. – pp. 142-156.

11. Assessment of meat freshness with metal oxide sensor microarray electronic nose: a practical approach / [V. Y. Musatov, V. V. Sysoev, M. Sommer, I. Kiselev] // *Sensors and Actuators B: Chemical.* – 2010. – Vol. 144. – pp. 99–103.

12. Hong X. Discrimination and prediction of multiple beef freshness indexes based on electronic nose / X. Hong, J. Wang, Z. Hai // *Sensors and Actuators B: Chemical.* – 2012. – Vol. 161. – pp. 381-389.

13. Determination of the Freshness of Beef Strip Loins (*M. longissimus lumborum*) Using Electronic Nose / Ye Xiao, Jin Jiaojiao, Hui Guohua, [and other] // *Food Analytical Methods.* – 2014. – No. 7. – pp. 1612-1618.

14. Detection of rancidity in freeze stored turkey meat using a commercial gas-sensor array system / [J. E. Haugen, F. Lundby, J. P. Wold, A. Veberg] // *Sensors and Actuators B: Chemical.* – 2006. – Vol. 116. – pp. 78-84.

15. Russell T. A. Comparison of sensory properties of whey and soy protein concentrates and isolates: a thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science Department of Food Science. – Raleigh. – 2004. – 132 p.

16. Boatright W. L. Headspace evaluation of methanethiol and dimethyl trisulfide in aqueous solutions of soy-protein isolates / W.L. Boatright, Q. Lei // *Journal of food science: Food Chemistry and Toxicology.* – 2000. – Vol. 65. – No. 5. – pp. 819-821.

17. Шпичка А. И. Сравнительная характеристика микроорганизмов, синтезирующих de novo летучие душистые вещества / А. И. Шпичка, Е. Ф. Семенова // *Фундаментальные исследования. Биологические науки.* – 2013. – №8. – С. 1113-1124.

18. Study of both Sunflower Oil and Its Headspace throughout the Oxidation Process. Occurrence in the Headspace of Toxic Oxygenated Aldehydes / [Maria D. Guillen, Nerea Cabo, Maria L. Ibargoitia, Ainhoa Ruiz] // *Journal of Agricultural Food Chemistry.* – 2005. – Vol. 53. – pp. 1093-1101.

19. Ross C. F. Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods / Carolyn F. Ross, Denise M. Smith // *Comprehensive reviews in food science and food safety.* – 2006. – Vol. 5. – pp. 18-25.

20. Петибская В. С. Соя: химический состав и использование / [под ред. В. М. Лукомца]. – Майкоп : ОАО “Полиграф-ЮГ”, 2012. – С. 213-224.

21. Витенберг А. Г. Статистический парофазный газохроматографический анализ. Физико-химические основы и области применения / А. Г. Витенберг // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева).* – 2003. – Т. XLVII. – № 1. – С. 7-22.

22. Дворкин В. И. Метрология и обеспечение качества количественного химического анализа / В. И. Дворкин. – М. : Химия, 2001. – 263 с.

23. Pushkarova Ya. The classification of solvents based on solvatochromic characteristics: the choice of optimal parameters for artificial neural networks / Ya. Pushkarova, Yu. Kholin // *Central European Journal of Chemistry.* – 2012. – Vol. 10. – No. 4. – pp. 1318-1327.

REFERENCES

1. Kovbasy vareni, sosysky, sardel'ky, hliby m'jasni [Cooked sausages, frankfurters, sausage links, meatloafs]: DSTU 4436-2005. – Effective as of 2006–07–01. – Kiev: Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2006. – 32 p. – (National standards of Ukraine).
2. Mjaso i mjasnye produkty. Metod gistologicheskoy identifikacii sostava [Meat and meat products. The method of identification of the histological structure]: GOST R 51604-2000. – Effective as of 2000–05–12. – Moscow: Russian State Standard, 2000. – 11 p.
3. Proshkin L. V. Veterinarno-sanitarnaja jekspertiza i metody opredelenija kachestva i bezopasnosti kolbasnyh izdelij [Sanitary veterinary expertise and methods for determining the quality and safety of sausages]: Ph.D. Thesis, spec. 06.02.05 “Veterinary sanitary, ecology, veterinary hygiene and veterinary-sanitary expertise” / L. V. Proshkin. – St. Petersburg, Russia, 2011. – 30 p.
4. Mjaso i mjasnye produkty. Opredelenie massovoj doli rastitel'nogo (soevogo belka) metodom jelektroforeza [Meat and meat products. Determination of the mass fraction of vegetable (soy protein) by electrophoresis]: GOST R 53220-2008. – Effective as of 2010–01–01]. — Moscow: Standartinform, 2009. – 12 p.
5. HEMAtest “Soja” [HEMAtest “Soy”] [Electron resource]. – Access mode: URL: <http://xematest.com/catalog/4/8/>. – (Accessed June 4, 2015).
6. García M.; Aleixandre, M.; Gutiérrez, J.; Horrillo, M. C. Electronic nose for ham discrimination. *Sens. Actuators B*. – 2006. – Vol. 114. – pp. 418-422.
7. Gonzalez-Martin, I.; Perez-Pavon, J. L.; Gonzalez-Perez, C.; Hernandez-Mendez, J.; Alvarez-Garcia, N. Differentiation of products derived from Iberian breed swine by electronic olfactometry (electronic nose) // *Anal. Chim. Acta*. – 2000. – Vol. 424. – pp. 279-287.
8. Garcia M. Electronic nose for the identification of spoiled Iberian hams / M. Garcia, M. Aleixandre, M. C. Horrillo // *Spanish Conference on Electron Devices, Tarragona, Spain; IEEE: New York*. – 2005. – pp. 537-540.
9. Kuchmenko T.A. Sravnitel'naja ocenka vozmozhnostej integral'nogo i differencial'nogo analizatorov gaza tipa “jelektronnyj nos” dlja issledovanija mjasnyh produktov [The comparison estimation possibilities of intergal and differential gas analyzer with methodology of “electronic nose” for studing of meat products] / T.A. Kuchmenko, D.A. Pogrebnaya // *Analytics and control*. – 2011. – Vol. 15. – No. 3. – pp. 313-323.
10. Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as an alternative technique for the spoilage classification of red meat / [N. El. Barbri, E. Llobet, N. El Bari and other] // *Sensors*. – 2008. – No. 8. – pp. 142-156.
11. Assessment of meat freshness with metal oxide sensor microarray electronic nose: a practical approach / [V. Y. Musatov, V. V. Sysoev, M. Sommer, I. Kiselev] // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2010. – Vol. 144. – pp. 99-103.
12. Hong X. Discrimination and prediction of multiple beef freshness indexes based on electronic nose / X. Hong, J. Wang, Z. Hai // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2012. – Vol. 161. – pp. 381-389.
13. Determination of the Freshness of Beef Strip Loins (*M. longissimus lumborum*) Using Electronic Nose / Ye Xiao, Jin Jiaojiao, Hui Guohua, [and other] // *Food Analytical Methods*. – 2014. – No. 7. – pp. 1612-1618.
14. Detection of rancidity in freeze stored turkey meat using a commercial gas-sensor array system / [J. E. Haugen, F. Lundby, J. P. Wold, A. Veberg] // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2006. – Vol. 116. – pp. 78-84.
15. Russell T. A. Comparison of sensory properties of whey and soy protein concentrates and isolates: a thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science Department of Food Science. – Raleigh. – 2004. – 132 p.
16. Boatright W. L. Headspace evaluation of methanethiol and dimethyl trisulfide in aqueous solutions of soy-protein isolates / W.L. Boatright, Q. Lei // *Journal of food science: Food Chemistry and Toxicology*. – 2000. – Vol. 65. – No. 5. – pp. 819-821.
17. Shpichka A. I. Sravnitel'naja harakteristika mikroorganizmov, sintezirujushih de novo letuchie dushistyje veshhestva [Comparative characteristics of microorganisms synthesizing de novo volatile aromatic substances] / A. I. Shpichka, E. F. Semenova // *Fundamental researches. Biological sciences*. – 2013. – No. 8. – pp. 1113-1124.
18. Study of both Sunflower Oil and Its Headspace throughout the Oxidation Process. Occurrence in the Headspace of Toxic Oxygenated Aldehydes / [Maria D. Guillen, Nerea Cabo, Maria L. Ibargoitia, Ainhoa Ruiz] // *Journal of Agricultural Food Chemistry*. – 2005. – Vol. 53. – pp. 1093-1101.
19. Ross C. F. Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods / Carolyn F. Ross, Denise M. Smith // *Comprehensive reviews in food science and food safety*. – 2006. – Vol. 5. – pp. 18-25.
20. Petibskaya V. S. Soja: himicheskij sostav i ispol'zovanie [Soy: chemical composition and using] / edited by V. M. Lukomca. – Maikop: JSC “Poligraf-JuG”, 2012. – pp. 213-224.
21. Vitenberg A. G. Statisticheskij parofaznyj gazohromatograficheskij analiz. Fiziko-himicheskie osnovy i oblasti primenenija [Statistical headspace gas chromatographic analysis. Physical and chemical bases and applications] / A. G. Vitenberg // *Russian chemical journal (Journal of the Russian Chemical Society named after D. I. Mendeleev)*. – 2003. – Vol. XLVII. – No 1. – pp. 7-22.
22. Dvorkin V. I. Metrologija i obespechenie kachestva kolichestvennogo himicheskogo analiza [Metrology and quality assurance of chemical analysis] / V. I. Dvorkin. – Moscow: Chemistry, 2001. – 263 p.
23. Pushkarova Ya. The classification of solvents based on solvatochromic characteristics: the choice of optimal parameters for artificial neural networks / Ya. Pushkarova, Yu. Kholin // *Central European Journal of Chemistry*. – 2012. – Vol. 10. – No. 4. – P. 1318-1327.