

ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ СВІЖОСТІ М'ЯСА

*Tetiana Bubela, Dr.Sc., Prof., Bohdan Bohush, PhD Student
Lviv Polytechnic National University, Ukraine;
e-mail: tetiana.z.bubela@lpnu.ua*

Анотація

В умовах ринкової економіки особливо важливим є випуск і забезпечення населення конкурентоспроможною харчовою продукцією, де м'ясні вироби займають вагомую частку. Рівень свіжості м'яса є одним із факторів, що визначає його якість. Сьогодні традиційні способи визначення рівня свіжості м'яса все ще широко використовуються. Серед них варто виокремити органолептичні, мікроскопічні та хімічні методи, які є часо- та трудомісткими. Останнім часом стали активно розвиватись електричні та оптичні методи контролю свіжості м'яса, які теж мають недоліки, пов'язані зі складністю встановлення залежності між фізико-хімічними та електричними і оптичними характеристиками. Тому автори актуалізували необхідність створення системи, котра здатна швидко і об'єктивно визначити ступінь свіжості м'яса. Для побудови такої системи пропонується використати електронний ніс (газові сенсори), сенсори кольору, та термокамеру, як зір. На основі аналітичного дослідження встановлено, що для електронного носа доцільно використовувати метало-оксидні напівпровідники (транзистори), електропровідні полімери, полімерні композиційні матеріали, кварцові мікроваги, поверхневі акустичні хвилі. Виокремлено їх переваги та проблематику реалізації. Запропонована реалізація системи електронного носа на одноплатному комп'ютері покаже свою успішність щодо контролю та ідентифікації свіжості м'яса. Сформовано матрицю напівпровідникових газових сенсорів TGS2602, MQ137 і MQ138 як сенсорів нюху та TCS3200 як RGB-сенсора зору, використання якої дасть можливість ідентифікувати запах і колір різного ступеня свіжості м'яса. Для отримання чітких вихідних відмінностей, створених газовими сенсорами, що реагують на ступінь свіжості м'яса, пропонується використати метод базової лінії. Отже, система, доповнена можливостями нейронної мережі, замінить традиційні пристрої ідентифікації свіжості м'яса.

Ключові слова

Ступінь Свіжості М'яса, Електронний Ніс, Газові Сенсори, Сенсори Кольору, Термокамера, Нейронна Мережа, Ідентифікація та Контроль Свіжості М'яса.

1. Вступ

Одним з найголовніших факторів, що визначає якість м'яса, є його ступінь свіжості. Є багато факторів, які впливають на цей показник. Так під час зберігання м'яса з порушеним режимом температури і вологості в результаті високого вмісту вологи і білків м'ясо і м'ясні продукти стають сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів. Продукти піддаються псуванню, що призводить до зміни кольору, запаху, смаку, товарного вигляду. Видовий склад мікроорганізмів досить різноманітний, серед них можуть бути присутніми патогенні мікроорганізми — збудники хвороб. Мікроорганізми, що проникли в м'ясо, виділяють ферменти, під дією яких утворюються аміак, оксид вуглецю, сірководень. Токсини, що утворилися, знижують харчову цінність м'яса, значно погіршують органолептичні показники. Органолептичні та лабораторні (хімічні та мікробіологічні) методи [1, 2] є традиційними при визначенні свіжості м'яса. Проте вони є часо- та працемісткими. Тому для швидкого та неруйнівного визначення рівня свіжості м'яса потрібна система, яка може оперативнo та точно оцінювати його стан. В останні роки завдяки розвитку інтелектуальних сенсорних технологій електронне сенсорне обладнання, таке як електронні язика та електронні носи, показало хороший ступінь застосування у сфері виявлення [10, 3, 4, 5, 6]. Завдяки перевагам швидкого та неруйнівного виявлення електронний ніс широко використовується в багатьох видах оцінки харчових продуктів, включаючи ідентифікацію напоїв [12 - 16], визначення якості фруктів [18 - 21]. Електронний ніс можна використовувати для виявлення різних типів газів, які виробляє м'ясо різного ступеня свіжості. За допомогою методів біохімічного аналізу можна встановити багато показників якості їжі, які потім використати як стандарти для електронного носа. Науковці вже працюють над такими проектами. Наприклад, розробники пристрою Peges [22] пропонують вимірювати температуру, вологість, наявність аміачних сполук, проте вони не задіюють сенсори кольору. Дослідники з Наньянського технологічного університету в Сінгапурі, які очолюють міжнародну команду, створили «електронний ніс», який допоможе визначити зіпсутий продукт [23]. Замість рецепторів цей «електронний ніс» використовує хітозан (тип натурального цукру) і набір барвників. Автори цієї статті пропонують створити комплексну систему, яка поєднає електронний ніс та комп'ютерний зір, що дозволить підвищити достовірність оцінювання свіжості м'яса на основі застосування нейронної мережі.

2. Недоліки

Незважаючи на численні дослідження, як в області створення електронного носа, так і комп'ютерного зору, досі не існує стандартизованого методу, який можна було б запропонувати для оперативного визначення ступеня свіжості м'яса. До цього часу використовують традиційні органолептичні та лабораторні методи. Проблеми сьогодення вимагають створення сучасних систем ідентифікації з використанням можливостей штучного інтелекту.

3. Мета

The goal of the current article is the заміна традиційних органолептичних та лабораторних методів контролю та ідентифікації свіжості м'яса на використання технології електронного сприйняття запаху та зображення шляхом створення комплексної системи електронний ніс + комп'ютерний зір.

4. Визначення ступеня свіжості м'яса органолептичними та лабораторними методами

Визначення ступеня свіжості м'яса за органолептичними показниками передбачає прямий контакт з м'ясом шляхом візуального огляду та оцінки запаху людським носом. Органолептичні дослідження проводять за допомогою органів чуття: зору, нюху, дотику. Визначення органолептичних показників свіжості яловичини, свинини та баранини [1] включає визначення зовнішнього вигляду і кольору м'яса, поверхні туші, стан м'язів на розрізі, його консистенції, запаху, стану жиру та сухожиль, а також якості бульйону в пробі варінням (табл. 1).

Таблиця 1. Визначення ступеня свіжості м'яса за органолептичними показниками

Показник	Характерні ознаки м'яса		
	свіже	сумнівної свіжості	несвіже
Зовнішній вигляд, колір поверхні туші	Кірка підсихання блідо-рожева або блідо-червона; у розморожених туш червона, жир м'який, частково забарвлений в яскраво-червоний колір.	Кірка місцями зволожена, злегка липка, потемніла.	Кірка сильно підсохла, покрита сірувато-коричневим слизом або пліснявою.
М'язи на розрізі	Злегка вологі, не залишають вологої плями на фільтрувальному папері; колір, властивий даному виду м'яса: для яловичини від світло-червоного до темно-червоного, для свинини — від світло-рожевого до червоного, для баранини — від червоного до червоно-вишневого, для ягнятини — рожевого.	Вологі; залишають вологу пляму на фільтрувальному папері, злегка липкі, темно-червоні. У розмороженого м'яса з поверхні розрізу стікає злегка мутнуватої м'ясний сік.	Вологі, залишають вологу пляму на фільтрувальному папері за площею більшу від площі дотику, липкі, червоно-коричневі. У розмороженого м'яса з поверхні розрізу стікає мутний м'ясний сік.
Консистенція	На розрізі м'ясо щільне, пружне; ямка, що утворюється під час надавлювання пальцем, швидко вирівнюється.	На розрізі м'ясо менш щільне і менш пружне; ямка, що утворюється під час надавлювання пальцем, вирівнюється повільно (протягом 1 хв.), жир м'який, у розмороженого м'яса - злегка розпушений.	На розрізі м'ясо в'яле; ямка, що утворюється від надавлювання пальцем, не вирівнюється, жир м'який, у розмороженого м'яса пухкий, з ознаками осалювання.
Запах	Специфічний, властивий кожному виду свіжого м'яса.	Злегка кислуватий або з відтінком затхлості.	Кислий, затхлий, або слабо-гнильний.
Стан жиру	Яловичий — білий, жовтуватий або жовтий, консистенція тверда. Від роздавлювання кришиться; свинячий - колір білий або блідо-рожевий, м'який, еластичний; баранячий - колір білий, консистенція щільна. Жир не повинен мати запах осалювання або згірнення.	Відтінок сірувато-матовий, злегка липне до пальців, може мати легкий запах осалювання.	Має сірувато-матовий відтінок, внаслідок роздавлювання мажеться. Свинячий жир може бути покритий невеликою кількістю плісняви, запах згірнення.

Стан сухожиль	Сухожилки пружні, щільні; поверхня суглобів гладка, блискуча. У розмороженому м'ясі вони м'які, пухкі, яскраво-червоного кольору.	Сухожилки менш щільні, матово-білого кольору. Поверхні суглобів злегка покриті слизом	Сухожилки розм'якшені, сіруваті. Поверхні суглобів покриті слизом
Кістковий мозок	Заповнює всю порожнину трубчастих кісток, твердий, жовтий, має фарфоровий блиск.	Заповнює всю порожнину трубчастих кісток, твердий, жовтий і матовий.	Не заповнює простір порожнини кістки, м'якої консистенції, брудно-сірого або темного кольору.
Прозорість та аромат бульйону	Прозорий, ароматний. Жир на поверхні у вигляді великих крапель.	Прозорий або мутний, із запахом, не властивим свіжому бульйону. На поверхні дрібні краплини жиру.	Мутний, з великою кількістю пластівців, з різким, неприємним запахом. Жирові краплини майже відсутні.

Оцінка свіжості м'яса за допомогою чуттєвих органів у харчовій промисловості є недостатньо точною, схильною до помилок і дорогою для стандартного застосування.

Якщо під час органолептичних досліджень були розбіжності в результатах, то проводять лабораторні дослідження. Для досліджень м'яса на свіжість використовують методи мікроскопічного і хімічного аналізу. Відповідно до Правил ветеринарно-санітарної експертизи м'яса та м'ясних продуктів можна визначити кількість летких жирних кислот, рН м'яса і мікроскопію мазків відбитків. За розбіжностей в результатах використовують гістологічні та мікробіологічні методи. Однак ці процеси вимагають тривалого аналізу та є деструктивними, оскільки м'ясо стає непридатним для споживання після хімічного тестування.

5. Дослідження системи електронного носа

Під час створення та реалізації системи варто враховувати переваги та проблематику застосування електронного носа (табл. 2).

Таблиця 2. Переваги та проблематика створення та застосування електронного носа

Переваги	Проблематика
Калібрування: Електронний ніс потребує постійного калібрування та підтримки, щоб забезпечити його точність і надійність. Це може вимагати додаткового часу, ресурсів та фахівців.	Оперативне визначення рівня свіжості м'яса: Електронний ніс призначений для швидкого визначення рівня свіжості м'яса шляхом аналізу його запаху. Він може розпізнавати характерні ознаки запаху, що змінюються під впливом процесів розкладу та порушення свіжості.
Чутливість до умов середовища: Електронний ніс може бути чутливим до зовнішніх факторів, таких як температура, вологість та інші хімічні речовини. Це може впливати на його здатність до правильного сприйняття та розпізнавання запахів.	Об'єктивність контролю: Електронний ніс може забезпечувати більш об'єктивну і послідовну оцінку якості м'яса, порівняно з суб'єктивними методами, які залежать від людського сприйняття. Це дозволяє зменшити помилки та варіацію в оцінках якості.
Обмеженість спектру запахів: Електронний ніс може бути обмеженим у спектрі запахів, які він може розпізнавати. Він може мати проблеми з розрізненням складних або субтильних запахів, що можуть вплинути на його точність і надійність.	Забезпечення безпеки харчових продуктів: Електронний ніс може виявляти запахи, пов'язані з розкладом м'яса або наявністю шкідливих мікроорганізмів. Це дозволяє вчасно виявляти потенційно небезпечні для споживання продукти.
Вплив завад: Електронний ніс може бути вразливим до перешкод, які можуть виникати в харчовому виробництві або інших промислових середовищах. Наприклад, наявність інших запахів або хімічних речовин може перешкоджати точному визначенню запахів м'яса.	Автоматизація процесу оцінки: Електронний ніс може бути інтегрований у виробничі лінії та автоматизовані системи контролю якості. Це сприяє швидкому та ефективному визначенню свіжості м'яса без необхідності вручну проводити оцінку.

Для реалізації системи ідентифікації свіжості м'яса за допомогою електронного носа запропоновано використовувати сенсорну базу: MQ-135, MQ-136, MQ-137, MQ-138 та TGS2602 для аналізу запаху, термокамера для вимірювання температури та сенсор кольору TCS3200. Таке поєднання сенсорів дозволяє достовірніше оцінити стан м'яса. Сенсори MQ-135, MQ-136, MQ-137 та MQ-138 виявляють характерні компоненти, пов'язані з різними стадіями розкладання м'яса. Сенсор TGS2602 надає додаткову інформацію про вміст небезпечних речовин. Термокамера здійснює моніторинг температурних змін, що теж є індикаторами порушення свіжості. Окрім того, сенсор кольору TCS3200 дає можливість детально відслідковувати кольорові зміни під час розкладання м'яса.

5.1. Сенсори газів та кольору

Серед переваг використання газових та кольорових сенсорів для ідентифікації свіжості м'яса варто виокремити наступні:

- **Точність та надійність:** Газові та кольорові сенсори можуть надати об'єктивну оцінку якості м'яса, що сприяє зменшенню помилок та варіацій у визначенні свіжості. Однак, для забезпечення високої точності та надійності необхідно ретельно калібрувати та підтримувати ці сенсори.
- **Швидкість та ефективність:** Газові та кольорові сенсори дозволяють проводити швидку оцінку якості м'яса без необхідності довгих та складних процедур. Це важливо для харчової промисловості, де час є важливим ресурсом.
- **Об'єктивність:** Система на основі сенсорів надає більш об'єктивну та послідовну оцінку свіжості м'яса порівняно зі суб'єктивними методами, які можуть бути залежні від особистого сприйняття.
- **Виявлення розкладу та мікроорганізмів:** Газові сенсори можуть виявляти хімічні зміни, пов'язані з розкладом м'яса або наявністю шкідливих мікроорганізмів, допомагаючи вчасно виявити продукти, які можуть бути небезпечними для споживання.
- **Широкий спектр запахів та кольорів:** Використання газових та кольорових сенсорів дозволяє реагувати на різні хімічні сполуки та кольори, що змінюються під час процесів розкладання та витоку свіжості м'яса.
- **Автоматизація та інтеграція:** Газові та кольорові сенсори можуть бути інтегровані у виробничі лінії та автоматизовані системи контролю якості, що сприяє швидкому та ефективному визначенню свіжості м'яса.

Вищенаведені аспекти свідчать про високий потенціал новітніх технологій для вдосконалення процесу оцінки якості м'яса та забезпечення безпеки харчових продуктів.

Кожен з обраних для створення комплексної системи контролю та ідентифікації м'яса сенсорів має свої унікальні можливості та функції, а саме:

- **MQ-135:** Цей газовий сенсор спеціалізується на виявленні широкого спектру різних газів, таких як аміак, діоксид вуглецю, сірководень та інші. Він здатний реагувати на певні гази, що виділяються під час розкладання м'яса, та надавати інформацію про зміни в їхній концентрації.
- **MQ-136:** Цей газовий сенсор спеціалізується на виявленні газу озону. Озон може утворюватися внаслідок взаємодії кисню з забруднювачами, які відомі своєю наявністю під час розкладання м'яса. Даний сенсор може виявити зміни в концентрації озону, який може вказувати на процеси розкладу.
- **MQ-137:** Цей сенсор призначений для виявлення аміаку, що може виділятися з м'яса під час розкладання. Зміни в концентрації аміаку можуть бути індикаторами змін у стані м'яса.
- **MQ-138:** Цей газовий сенсор призначений для виявлення діоксиду сірки, який також може виділятися під час розкладання м'яса. Зміни в концентрації діоксиду сірки можуть вказувати на процеси порушення свіжості.
- **TGS2602:** Цей сенсор також спеціалізується на виявленні різних газів, включаючи леткі органічні сполуки, які можуть виділятися з м'яса під час його розкладання. Він може доповнити інформацію, зібрану іншими газовими сенсорами, і забезпечити більш повний аналіз.
- **TCS3200:** Сенсор кольору TCS3200 виявляє кольорові властивості м'яса, які можуть змінюватися залежно від його стану. Він допоможе здійснити більш детальний аналіз кольорових змін, що можуть вказувати на зміни у фізичних та хімічних властивостях м'яса під час його розкладання.

5.2. Реалізація комплексної системи контролю та ідентифікації м'яса

Для реалізації комплексної системи контролю та ідентифікації м'яса запропоновано використання двох платформ - Arduino та Raspberry Pi, що дасть можливість досягти високої точності та надійності вимірювань, а також використовувати їх переваги для оптимальної реалізації системи. Поєднання платформ Arduino та Raspberry Pi є доцільним з наступних причин:

- **Ефективне використання ресурсів:** Arduino має простий та ефективний мікроконтролер, який відповідає за збір даних від газових сенсорів та термокамери. Водночас, Raspberry Pi використовується для проведення складних обчислень, аналізу даних та взаємодії з користувачем.
- **Обчислювальна потужність:** Raspberry Pi надає більше обчислювальної потужності та оперативної пам'яті, що дозволяє використовувати складні алгоритми обробки даних та реалізувати нейронні мережі для більш точної ідентифікації запаху та кольору.
- **Підключення до мережі та інтерфейс користувача:** Raspberry Pi має вбудований Ethernet-порт та можливість підключення до Wi-Fi, що дозволяє забезпечити зв'язок з мережею. Запропоновано створити інтерфейс користувача, доступний через веб-браузер, для відстеження та управління нашою системою.
- **Синхронізація та збереження даних:** Raspberry Pi може використовувати більший об'єм пам'яті для зберігання даних зі сенсорів, які потім можуть бути оброблені та аналізовані. Це дозволяє зберігати історію даних та створювати звіти.
- **Розширення можливостей:** Raspberry Pi може підключати різні додаткові пристрої та сенсори, які можуть диверсифікувати та розширити спектр досліджуваних характеристик під час ідентифікації м'яса, наприклад, сенсор кольору TCS3200.

- **Подальший розвиток:** Однією з переваг запропонованого підходу є можливість оптимізації системи в майбутньому. Це стосується оновлення програмного забезпечення та додавання нових функцій без значних змін у апаратному забезпеченні.

Отже, Arduino відповідає в запропонованій системі контролю та ідентифікації м'яса за збір даних від газових сенсорів (MQ-135, MQ-136, MQ-137, MQ-138, TGS2602) та термокамери. Raspberry Pi з його більшою обчислювальною потужністю та можливістю встановлення операційних систем, використовується для обробки даних, створення інтерфейсу користувача, аналізу даних та реалізації нейронної мережі для прийняття рішень щодо свіжості м'яса. Arduino виконує збір даних у реальному часі, а Raspberry Pi - складніші обчислювальні завдання та забезпечує інтерактивність. Звісно, обираючи цей підхід, важливо забезпечити правильну комунікацію між Arduino та Raspberry Pi. Для комунікації між платформами Arduino та Raspberry Pi існують різні протоколи передачі даних, а саме:

- **Serial Communication (UART/USART):** базовий протокол передачі даних між пристроями через виводи TX (передача) та RX (прийом). Один пристрій передає дані через TX, а інший приймає їх через RX. Цей протокол досить простий для реалізації, але вимагає відведення фізичних контактів для передачі даних.
- **I2C (Inter-Integrated Circuit):** двоконтактний протокол, який дозволяє декільком пристроям спільно використовувати одні проводи для передачі даних. Це дозволить підключити більше сенсорів до системи, якщо така потреба виникне.
- **SPI (Serial Peripheral Interface):** синхронний протокол передачі даних, який дозволяє швидко обмін інформацією між пристроями. Його можна використовувати, якщо потрібно високу швидкість передачі даних, наприклад, для обробки в реальному часі.
- **UART через USB:** для використання Raspberry Pi з підтримкою USB можна використовувати USB-серійний адаптер для підключення до виводів TX/RX на Arduino. Це зручно, оскільки USB-порти є загальною практикою для багатьох комп'ютерних пристроїв.
- **Ethernet або Wi-Fi:** для забезпечення бездротового доступу, можна використовувати мережеві протоколи, такі як Ethernet або Wi-Fi.

Для розробленої системи пропонується використовувати комбінацію **UART** і **USB** для зв'язку між Arduino та Raspberry Pi. Ця комбінація дозволить забезпечити надійний та простий зв'язок між платформами, що дозволить передавати дані про запахи та кольори м'яса для подальшої обробки та аналізу на Raspberry Pi.

5.3. Програмне забезпечення та створення нейромережі

Процес розробки програмного забезпечення для системи контролю та ідентифікації свіжості м'яса включає програмування мікроконтролера Arduino для обробки даних від газових сенсорів, розробку графічного інтерфейсу користувача (GUI) для Raspberry Pi та використання нейромережі для прийняття рішень щодо визначення ступеня свіжості м'яса.

Програмування мікроконтролера Arduino

Починаючи з ініціалізації газових та кольорових сенсорів, програмний код формується на мові програмування C/C++, який зчитує дані з сенсорів та обробляє їх. Для газових сенсорів MQ135, TGS2602, MQ138 та MQ137 використовується аналоговий ввід/вивід для отримання значень рівня газу в оточуючому повітрі. Кольоровий сенсор TCS3200 підключається до цифрових входів та зчитує дані про кольори з об'єктів.

Розробка графічного інтерфейсу користувача (GUI)

Для зручного керування та моніторингу системи розробляється графічний інтерфейс користувача (GUI) на Raspberry Pi. При цьому використовується програмне забезпечення Lazarus для створення цього інтерфейсу, яке працює під операційною системою Raspbian. GUI має дві частини:

1. **Частина навчання:** Ця частина інтерфейсу дозволяє налаштовувати параметри процесу навчання нейромережі, такі як швидкість навчання та параметри помилок. Після конфігурації можна розпочати навчання. Прогрес навчання та графік помилок будуть відображатися на екрані.
2. **Частина визначення ступеня свіжості:** Ця частина інтерфейсу показує результати визначення ступеня свіжості м'яса за допомогою нейромережі. Вона відображає значення газових сенсорів та RGB сенсора, які надходять з мікроконтролера Arduino. Після встановлення з'єднання між Arduino та Raspberry Pi, дані зчитуються та використовуються для визначення ступеня свіжості м'яса.

Збереження та відображення результатів

Отримані дані, результати навчання нейромережі та результати визначення свіжості м'яса можуть бути збережені у вигляді текстових файлів у відповідних папках на Raspberry Pi. Це дозволяє аналізувати дані та відстежувати зміни досліджуваному продукту в часі.

Використанні піни:

1. **SCL (Serial Clock Line) та SDA (Serial Data Line):** Ці піни використовуються для забезпечення зв'язку з I2C сенсорами та іншими пристроями.
2. **Аналогові піни (A00-A05):** Вони призначені для підключення газових сенсорів MQ135, TGS2602, MQ138 та MQ137. Для кожного сенсора важлива правильність підключення та орієнтацію підключених дротів.
3. **Цифрові піни D00-D13:** Ці піни використовуються для підключення різних пристроїв, включаючи модуль кольорового сенсору, реле та LED-індикатор.
4. **3.3v та 5v:** Ці піни надають живлення пристроям, які працюють на рівнях напруги 3.3V та 5V відповідно.
5. **Ground:** Піни призначені для заземлення системи.

6. Висновки

Підсумовуючи розвиток та реалізацію системи ідентифікації свіжості м'яса на основі електронного носа, можна зазначити, що цей проект об'єднав різноманітні технологічні компоненти для досягнення головної мети - надійної та точної ідентифікації рівня свіжості м'яса. Застосування газових та кольорових сенсорів, таких як MQ-135, MQ-136, MQ-137, MQ-138, TGS2602 та TCS3200, у поєднанні з використанням мікроконтролера Arduino та одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, створило потужну систему, яка може здійснювати аналіз м'яса за його запахом і кольором.

Нейромережа, вбудована у програмне забезпечення системи, додала новий рівень обробки даних, дозволяючи здійснювати ідентифікацію з високою точністю. Процес зчитування даних від сенсорів, їх передача між платформами та обчислення за допомогою нейромережі створює відмінний функціональний комплекс.

Результатом цієї роботи є функціонуюча система, яка здатна ідентифікувати рівень свіжості м'яса з високою точністю та надійністю. Цей проект відкриває двері до застосування подібних технологій в сфері харчової промисловості, допомагаючи забезпечити якість та безпеку продуктів для споживачів.

Література

- [1] ДСТУ 7992:2015 М'ясо та м'ясна сировина. Методи відбирання проб та органолептичного оцінювання свіжості.
- [2] Commission Regulation (EC) N. On microbiological criteria for foodstuffs. Available online: [https://www.fsai.ie/uploadedFiles/Reg2073_2005\(1\).pdf](https://www.fsai.ie/uploadedFiles/Reg2073_2005(1).pdf) (accessed on 13 June 2019).
- [10] Wojnowski W., Majchrzak T., Dymerski T., Gębicki J., Namieśnik J. Electronic noses: Powerful tools in meat quality assessment. *Meat Sci.* 2017;131:119–131. doi: 10.1016/j.meatsci.2017.04.240.
- [3] Linee Guida per l'analisi del rischio nel campo della microbiologia degli alimenti. Available online: https://www.ceirsa.org/docum/allegato_punto4.pdf (accessed on 13 June 2019)
- [4] Song S., Tang Q., Hayat K., Karangwa E., Zhang X., Xiao Z. Effect of enzymatic hydrolysis with subsequent mild thermal oxidation of tallow on precursor formation and sensory profiles of beef flavours assessed by partial least squares regression. *Meat Sci.* 2014;96:1191–1200. doi: 10.1016/j.meatsci.2013.11.008
- [5] Tian X., Wang J., Cui S. Analysis of pork adulteration in minced mutton using electronic nose of metal oxide sensors. *J. Food Eng.* 2013;119:744–749. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.07.004
- [6] Wijaya D.R., Sarno R., Zulaika E., Sabila S.I. Development of mobile electronic nose for beef quality monitoring. *Procedia Comput. Sci.* 2017;124:728–735. doi: 10.1016/j.procs.2017.12.211
- [12] De las NievesLópez de Lerma M., Bellincontro A., García-Martínez T., Mencarelli F., Moreno J.J. Feasibility of an electronic nose to differentiate commercial Spanish wines elaborated from the same grape variety. *Food Res. Int.* 2013;51:790–796. doi: 10.1016/j.foodres.2013.01.036.
- [13] Lozano J., Arroyo T., Santos J.P., Cabellos J.M., Horrillo M.C. Electronic nose for wine ageing detection. *Sens. Actuators B Chem.* 2008;133:180–186. doi: 10.1016/j.snb.2008.02.011.
- [14] Prieto N., Rodríguez-Méndez M.L., Leardi R., Oliveri P., Hernando-Esquisabel D., Iñiguez-Crespo M., de Saja J.A. Application of multi-way analysis to UV–visible spectroscopy, gas chromatography and electronic nose data for wine ageing evaluation. *Anal. Chim. Acta.* 2012;719:43–51. doi: 10.1016/j.aca.2012.01.009.
- [15] Alexandre M., Santos J., Sayago I., Cabellos J., Arroyo T., Horrillo M. A Wireless and Portable Electronic Nose to Differentiate Musts of Different Ripeness Degree and Grape Varieties. *Sensors.* 2015;15:8429–8443. doi: 10.3390/s150408429.
- [16] Wei Z., Xiao X., Wang J., Wang H. Identification of the Rice Wines with Different Marked Ages by Electronic Nose Coupled with Smartphone and Cloud Storage Platform. *Sensors.* 2017;17:2500. doi: 10.3390/s17112500.
- [18] Gobbi E., Falasconi M., Concina I., Mantero G., Bianchi F., Mattarozzi M., Musci M., Sberveglieri G. Electronic nose and *Alicyclobacillus* spp. spoilage of fruit juices: An emerging diagnostic tool. *Food Control.* 2010;21:1374–1382. doi: 10.1016/j.foodcont.2010.04.011. [19] Gruber J., Nascimento H.M., Yamauchi E.Y., Li R.W.C., Esteves C.H.A., Rehder G.P., Gaylarde C.C., Shirakawa M.A. A conductive polymer based electronic nose for early detection of *Penicillium digitatum* in post-harvest oranges. *Mater. Sci. Eng. C.* 2013;33:2766–2769. doi: 10.1016/j.msec.2013.02.043.
- [20] Chen L.-Y., Wu C.-C., Chou T.-I., Chiu S.-W., Tang K.-T. Development of a Dual MOS Electronic Nose/Camera System for Improving Fruit Ripeness Classification. *Sensors.* 2018;18:3256. doi: 10.3390/s18103256.
- [21] Xu S., Sun X., Lu H., Yang H., Ruan Q., Huang H., Chen M. Detecting and Monitoring the Flavor of Tomato (*Solanum lycopersicum*) under the Impact of Postharvest Handlings by Physicochemical Parameters and Electronic Nose. *Sensors.* 2018;18:1847. doi: 10.3390/s18061847.

Data about authors

Бубела Тетяна Зіновіївна
Доктор технічних наук
Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології»
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013
E-mail: tetiana.z.bubela@lpnu.ua
Контактний тел.: +38 067 97 99 597
Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 65
Кількість статей у міжнародних базах даних – 15
Номер ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2525-9735>

Bubela Tetiana
Doctor of Technical Sciences
Department of Information Measurement Technologies
Lviv Polytechnic National University
Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013
E-mail: tetiana.z.bubela@lpnu.ua
Contact tel.: +38 067 97 99 597
The number of articles in national databases – 65
The number of articles in international databases – 15
Number ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2525-9735>

Богуш Богдан
Студент
Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології»
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013
E-mail:
Контактний тел.:
Номер ORCID:

Bohdan Bohush
PhD Student
Department of Information Measurement Technologies
Lviv Polytechnic National University
Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013
E-mail:
Contact tel.:
Number ORCID: