



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2026.2.23>

УДК 339.1

О. П. Юдічева,

к. т. н., доцент,

доцент кафедри товарознавства та комерційної діяльності в будівництві,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4421-3318>

Н. П. Ляліна,

д. т. н., професор, професор кафедри товарознавства та комерційної

діяльності в будівництві,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9364-0925>

Л. І. Сєногонова,

к. т. н., доцент, Державний заклад

«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7359-3316>

**ОГЛЯД НАПРЯМКІВ ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИСЕНСОРНИХ
СИСТЕМ E-NOSE І E-TONGUE ПІД ЧАС ЕКСПЕРТНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

O. Yudicheva,

*PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the
Department of Commodity Science and Commercial Activity in Construction,
Kyiv National University of Construction and Architecture*

N. Lialina,

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of
Commodity Science and Commercial Activity in Construction,
Kyiv National University of Construction and Architecture*

L. Sienohonova,

*PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Luhansk Taras Shevchenko National University*

OVERVIEW OF THE USE OF MULTI-SENSOR E-NOSE AND E- TONGUE SYSTEMS DURING EXPERT RESEARCH OF FOOD PRODUCTS

У статті визначено, що до інноваційних експрес-методів відносять технології електронного носа (e-nose) та електронного язика (e-tongue), які забезпечують автоматизовану, об'єктивну та швидку оцінку, що робить їх дуже важливими і незамінними під час експертних досліджень харчових продуктів. Найчастіше технології e-nose і e-tongue застосовують під час визначення показників якості та безпечності харчових продуктів; для моніторингу технологічних процесів і з метою виявлення фальсифікації. Зроблено висновки про те, що e-nose та e-tongue добре зарекомендували себе під час визначення свіжості продуктів та виявлення перших ознак зниження їх якості; їх використовують для визначення ступеня стиглості свіжих фруктів та овочів, визначення регіону походження і виробництва виноградних вин, чаю та кави тощо. Визначено, що системи e-nose та e-tongue можуть виявити мікробіологічне забруднення на початкових етапах його розвитку. Ці методи легко виявляють залишкову кількість пестицидів,

важких металів, мікотоксинів в харчових продуктах. E-tongue використовується для профілювання та стандартизації смаку. Виявлено, що e-nose і e-tongue застосовують для виявлення фальсифікації молочних, м'ясних, безалкогольних, алкогольних напоїв, олій і меду. Зроблено висновок про те, що технології e-nose і e-tongue постійно удосконалюються в останні роки. Підґрунтям для цього слугує розвиток сенсорних технологій та штучного інтелекту.

During expert research on the quality of food products, many problems arise due to the fact that most standardized methods require a lot of time to conduct research, require expensive equipment and chemical reagents, and involve experienced specialists. The article identifies innovative express methods as electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) technologies that provide automated, objective, and rapid assessment, making them very important and indispensable during expert research of food products. E-nose and e-tongue are analytical devices that mimic the biological organs of smell and taste, using arrays of sensors to detect chemicals. It was found that e-nose and e-tongue technologies are most often used during research important for food products: determining quality and safety indicators; for monitoring technological processes and for the purpose of detecting falsification. It was concluded that assessing the freshness of products and detecting the first signs of deterioration based on the analysis of volatile organic compound profiles is a priority. This is especially true for perishable products such as meat, fish, and seafood. Also, e-nose and e-tongue are used to determine the degree of ripeness of fresh fruits and vegetables, determine the region of origin and production of grape wines, tea and coffee. These methods easily detect pesticide and other chemical residues in fruits and vegetables. They also detect volatile markers associated with bacterial growth. Electronic tongue used for taste profiling and standardization. It has been found that e-nose and e-tongue are often used in authenticity tests for such food groups as dairy and meat products, fruits and vegetables, various oils, tea and coffee, and soft and alcoholic

beverages. It is concluded that the technologies of the e-nose and e-tongue have been constantly improved in recent years. The basis for this is the development of sensor technologies and artificial intelligence.

Ключові слова: *електронний ніс, електронний язик, якість та безпека харчових продуктів, експертні дослідження, фальсифікація, сенсорна система.*

Keywords: *e-nose, e-tongue, food quality and safety, expert studies, falsification, sensory system.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Проблема забезпечення споживачів високоякісними, безпечними харчовими продуктами, які мають високу споживну цінність не втрачає своєї актуальності особливо під час проведення експертних досліджень. Існує безліч поширених і традиційних методів визначення показників якості і безпечності – від сенсорного аналізу, що ґрунтується на використанні органів відчуття людини, до складних лабораторних – хімічних, фізико-хімічних, мікробіологічних. Але всі вони можуть бути суб'єктивними (впливають особливості сприйняття людини, втома тощо), трудомісткими (вимагають тривалої, багатоетапної підготовки зразків та тривалого аналізу) і економічно неефективними (зокрема, обладнання для хроматографічного та спектроскопічного аналізу є дорогим і вимагає кваліфікованих працівників). Технології електронного носа (e-nose) та електронного язика (e-tongue) забезпечують автоматизовану, об'єктивну та швидку оцінку, що робить їх дуже важливими і незамінними під час контролю якості та експертних досліджень харчових продуктів [1-4].

Системи e-nose та e-tongue не вимагають зміни або знищення зразка, на відміну від деяких хімічних методів. Вони демонструють високу чутливість та специфічність, оскільки здатні виявляти незначні відмінності у складі

харчових продуктів Автоматизація та швидке виявлення забезпечують результати в режимі реального часу, підвищуючи ефективність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В наукових працях як вітчизняних, так і зарубіжних фахівців, наводиться порівняння ефективності технологій електронного носа (e-nose) та електронного язика (e-tongue) з біологічними системами людини; розглядаються напрямки удосконалення цих сучасних технологій. *Електронний ніс (e-nose)* (рис. 1) – це біоміметична сенсорна система, яка відтворює функцію нюхової системи людини для виявлення та оцінки летких органічних сполук (ЛОС), що виділяються з харчових продуктів. Використовуючи перехресно-реактивні сенсорні масиви та інтелектуальну обробку сигналів, електронний ніс може ідентифікувати характерні профілі запахів, пов'язані з псуванням, забрудненням, фальсифікацією та свіжістю харчових продуктів [5-8].

В основі технології електронного носа лежить відтворення механізмів біологічної системи нюху людини. Зокрема, ніс людини використовує мільйони рецепторів нюху для виявлення запахів, а електронний ніс бере інформацію від масиву високочутливих датчиків, які взаємодіють з газами у повітрі. В організмі людини сигнали, що вловлюються рецепторами нюху передаються до нюхових цибулин, які перетворюють запах на стимул для розпізнавання в мозку. В електронному носі взаємодія різних датчиків з газоподібною сумішшю створює складні сигнальні патерни, які проходять через схему, де вони посилюються та оцифровуються. Сигнал аналізується спеціальним програмним забезпеченням, яке діє як «мозок» системи та використовує алгоритми для розрізнення певних газів із газоподібною сумішшю на основі їхніх індивідуальних цифрових відбитків [9].

Нещодавно норвезькі вчені запропонували електронний ніс, що здатен розрізняти не тільки газу, а й ізомери, чого не вміють наявні до сьогодні прилади [10].

Електронний язик (e-tongue) призначений для аналізу рідких компонентів їжі, імітуючи смакову систему людини. На відміну від e-nose,

який зосереджується на летких сполуках, e-tongue виявляє розчинені речовини, такі як солі, цукри, кислоти та гіркі сполуки [11-12]. Поширені типи сенсорів використовують різні способи взаємодії з рідкою речовиною або газом. Найчастіше – це електрохімічні сенсори (рис. 2).

Основою e-tongue є сенсорний масив, система обробки даних та алгоритм розпізнавання образів. Сенсорний масив містить різні типи смакових сенсорів, кожен з яких призначений для реагування на основні смаки – солодкий, кислий, солоний, гіркий та уамі. Ці сенсори ґрунтуються переважно на електрохімічних, оптичних або імпедансних принципах. Коли рідкий зразок подається на e-tongue, він взаємодіє зі смаковими датчиками в масиві. Кожен датчик генерує електричну реакцію на основі конкретних смакових компонентів, присутніх у зразку. Система обробки даних фіксує та аналізує ці реакції, щоб отримати потрібну інформацію щодо смакового профілю зразка. В електронних язиках сенсори відіграють роль смакових рецепторів, а мозок замінюється комп'ютером, який володіє відповідними методами обробки даних [13].

Останні дослідження присвячені питанню підвищення селективності та чутливості датчиків e-tongue, зокрема рекомендують використовувати додаткові шари різних наноматеріалів [14].

Переваги e-nose і e-tongue [7]:

- точність (здатність виявляти навіть незначні відмінності в рідинах і газах, які людині важко відчувати);
- економія часу на дослідження (завдяки ресурсам, використаним у апаратному та програмному забезпеченні, можна отримати велику кількість даних і обробити їх за короткий час);
- зменшення кількості втручань зі сторони дослідників (системи можуть використовуватися автоматизовано, що дозволяє уникнути упереджень, притаманних досліднику);
- це неруйнівні методи (вони не потребують початкової руйнівної обробки зразків для аналізу).

До окремих недоліків e-nose і e-tongue відносять [7]:

- високу вартість;
- на сьогодні не існує стандартизованого методу, що призводить до різних рішень залежно від способу аналізу даних;
- потрібні фахівці-дегустатори (незважаючи на ефективність цих пристроїв, необхідно порівнювати одержані дані з результатами дегустацій, особливо в галузі харчування);
- пристрої чутливі до перешкод, що впливає на кінцевий результат.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета полягає в узагальненні інформації щодо напрямків використання мультисенсорних систем e-nose і e-tongue під час експертних досліджень харчових продуктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Найчастіше технології e-nose і e-tongue застосовують під час важливих для харчових продуктів досліджень: визначенні показників якості та безпеки; для моніторингу технологічних процесів і з метою виявлення фальсифікації

Оцінка свіжості продуктів та виявлення перших ознак зниження якості є пріоритетом. Особливо це стосується швидкопсувних продуктів, таких як м'ясо, риба, морепродукти. Зіпсовані продукти виділяють леткі органічні сполуки (ЛОС), водночас їх хімічний склад зазнає значних змін. E-nose використовується для визначення початкової стадії негативних змін якості риби та м'яса завдяки здатності виявляти аміак, триметиламін та сполуки сірки, які свідчать про псування. Проведені дослідження свідчать про те, що системи електронного носа можуть класифікувати зразки яловичини на основі рівня свіжості з точністю понад 95% [15]. У табл.1 наведено приклади використання e-nose та e-tongue під час експертних досліджень якості та безпеки харчових продуктів.

Таблиця 1. Використання e-nose та e-tongue для експертних досліджень якості та безпечності харчових продуктів

Напрямок використання	Приклади застосування e-nose та e-tongue
<i>Дослідження якості харчових продуктів</i>	- виявлення та ідентифікація зразків свіжої, охолодженої та зіпсованої риби на основі профілів летких органічних сполук (ЛОС); - розпізнавання і ідентифікація різних марок пастеризованого молока; - використання технології e-tongue для оцінки якості вина з метою класифікації його різних сортів за кислотністю, вмістом танінів та міцністю; - визначення походження зерен кави та виявлення ступеня їх обсмажування (e-tongue аналізує концентрацію кофеїну та поліфенолів); - використання технології e-tongue для виявлення мікробного псування м'ясних продуктів та продуктів переробки птиці (ріст бактерій змінює смаковий профіль, зокрема відбуваються зміни кислотності продукту); - визначення ботанічного походження меду; виявлення зразків монофлорного та поліфлорного меду (використання потенціометричного e-tongue); - розрізнення типів лагерного пива; - виявлення регіону вирощування і виробництва чаю; - визначення стадії дозрівання персиків протягом терміну придатності
<i>Дослідження безпечності харчових продуктів</i>	- виявлення патогенних мікроорганізмів, токсинів та алергенів; - аналіз летких органічних сполук, що утворюються в результаті бактеріального метаболізму і виявлення забруднення харчових продуктів сальмонелою, кишковою паличкою та лістеріями; - виявлення уражень зернових культур та горіхів плісінню; ідентифікація грибкової інфекції в продуктах переробки зерна під час зберігання (до появи видимих ознак псування); - виявлення залишків пестицидів у продукції рослинництва; - виявлення іонів металів, зокрема свинцю, кадмію та ртуті, у питній воді, фруктових соках та алкогольних напоях за допомогою системи e-tongue

Джерело: сформовано на основі [15-25].

Забруднення харчових продуктів бактеріями (табл. 1), мікотоксинами та хімічними залишками становить ризик для здоров'я. Системи e-nose та e-tongue забезпечують механізм раннього попередження для виявлення таких забруднювачів. Ці методи легко виявляють залишкову кількість пестицидів та інших хімічних речовин у фруктах та овочах [26]. Вони також виявляють леткі маркери, пов'язані з ростом бактерій та патогенним забрудненням м'яса.

Для виробників харчових продуктів та експертів важливим залишається розуміння уподобань споживачів. E-tongue використовується для профілювання смаку та стандартизації смаку, допомагаючи виробникам оптимізувати рецептури продуктів на основі цільових ринків. Табл. 2 містить показові напрямки використання e-nose та e-tongue для контролю технологічного процесу виробництва харчових продуктів.

Таблиця 2. Використання e-nose та e-tongue для контролю технологічного процесу виробництва харчових продуктів

Напрямок використання	Приклади застосування e-nose та e-tongue
<i>Контроль технологічного процесу виробництва харчових продуктів</i>	- контролювання процесу бродіння та відстеження стадій бродіння під час виробництва пива; виявлення в продукті сторонніх присмаків; - контролювання процесу бродіння виноградного вина; - контролювання процесу ферментації йогурту, відстежування активності молочнокислих бактерій, задля оптимізації процесу ферментації; - моніторинг змін біоактивних та ароматичних сполук під час обсмажування кави; інформування про те, як ступені обсмажування впливають на розвиток смаку кави та стабільність сполук, що утворилися

Джерело: сформовано на основі [15; 27].

Фальсифікація – це дії, що спрямовані на обман споживача підробкою товару з корисною метою. Найбільшу шкоду організму людині може завдати асортиментна фальсифікація та фальсифікація якості харчових продуктів. Під час асортиментної фальсифікації підробка виконується за допомогою повної чи часткової заміни товару його заміником іншого виду чи найменування із збереженням схожості одного чи декількох ознак. Метою багатьох експертних досліджень є ідентифікація харчових продуктів, під час якої визначають автентичність продукту і роблять висновки щодо наявності чи відсутності фальсифікації.

На ринку харчових продуктів зустрічаються фальсифіковані продукти низької якості навіть такі, що завдають значної шкоди здоров'ю споживачів. У цій сфері e-nose та e-tongue застосовують як інструменти для посилення контролю якості та забезпечення автентичності продукції швидшим, але не

менш надійним способом. Фальсифікація харчових продуктів є серйозною глобальною проблемою з економічними та медичними наслідками. E-nose та e-tongue використовуються для виявлення шкідливих домішок у харчових продуктах (табл.3). Також їх часто застосовують у тестах на автентичність для таких груп харчових продуктів як молочні та м'ясні продукти, фрукти та овочі, різні олії, чай та кава, безалкогольні та алкогольні напої [28] Більшість цих робіт ґрунтуються на потенціометричних і вольтаметричних багатосенсорних пристроях.

Таблиця 3. Використання e-nose та e-tongue для виявлення фальсифікації харчових продуктів

Напрямок використання	Приклади застосування e-nose та e-tongue
<i>Виявлення фальсифікації харчових продуктів</i>	- виявлення сторонніх домішок у меді; розрізнення чистого меду та меду, фальсифікованого цукровим сиропом, за допомогою технології e-tongue; e-nose використовується для виявлення фальсифікації шляхом аналізу відмінностей ЛОС між чистими та фальсифікованими зразками меду; - виявлення дешевих замінників в оливковій олії; використання e-tongue для підтвердження автентичності оливкової олії першого віджиму; виявлення різниці між високоякісною олією та зразком нижчого ґатунку; - виявлення синтетичних добавок у молоці; - визначення синтетичних антиоксидантів у оливкових оліях

Джерело: сформовано на основі [16; 27; 29-32].

Системи e-nose та e-tongue з точністю прогнозування від 80 до 96% домінують у застосуваннях аналізу харчових продуктів, демонструючи свою надійність в оцінці свіжості, автентичності та забруднення [15]. Дослідження показали, що поєднання обох технологій –електронного язика та електронного носа, призводить до покращення розпізнавання категорій харчових продуктів та прогнозування їх якості на 8-25% порівняно з використанням кожної з технологій окремо.

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Використання інноваційних технологій e-nose та e-tongue під час експертних досліджень є прогресом в харчовій промисловості і експертизі харчових продуктів. Ці пристрої можна використовувати в експрес-дослідженнях як

швидкі, надійні та економічно ефективні рішення для оцінки свіжості, підтвердження автентичності, виявлення забруднень шкідливими сполуками та визначення сенсорних характеристик різних харчових продуктів. До їх переваг відносять об'єктивність і, що дуже важливо, неруйнівну оцінку аромату, смаку, свіжості та безпечності за вмістом шкідливих сполук.

Технології e-nose та e-tongue постійно удосконалюються в останні роки. Підґрунтям для цього слугує розвиток сенсорних технологій та штучного інтелекту. Отже, ці технології в майбутньому стануть доступними, ефективними і будуть незамінними для фахівців в моніторингу якості харчових продуктів та під час низки експертних досліджень.

Література

1. Zou Y., Wan H., Zhang X., Ha D., Wang P. Electronic Nose and Electronic Tongue. *Bioinspired Smell and Taste Sensors: chapter reviews* / Wang, P., Liu, Q., Wu, C., Hsia, K., Eds. Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2015. P. 19–44.
2. Gabrieli G., Muszynski M., Ruch P. Electronic noses and tongues: Current trends and future needs. *Digital Sensory Science. Applications in New Product Development*. 2022. Chapter 10. P.117–133.
3. Tibaduiza D., Anaya M., Gómez J., Sarmiento J., Perez M., Lara C., Ruiz J., Osorio N., Rodriguez K., Hernandez I., Sanchez, C. Electronic Tongues and Noses: A General Overview. *Biosensors*. 2024. Vol. 14, No 4, P.190. doi: 10.3390/bios14040190.
4. Lu L., Hu Z., Hu X., Li D., Tian S. Electronic tongue and electronic nose for food quality and safety. *Food research international*. 2022. Vol. 162, Pt B. 112214. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112214>.
5. Rock F., Barsan N., Weimar U. Electronic Nose: Current Status and Future Trends. *Chemical Reviews*. 2008. Vol. 108, No 2. P. 705–725.

6. Wilson A. D., Baietto M. Applications and advances in electronic-nose technologies. *Sensors (Basel)*. 2009. Vol. 9, No 7. P. 5099-5148. doi: 10.3390/s90705099.

7. Liang Z., Tian F., Yang S.X., Zhang C., Sun H., Liu T. Study on Interference Suppression Algorithms for Electronic Noses: A Review. *Sensors*. 2018. Vol.18, No 4. P. 1179. <https://doi.org/10.3390/s18041179>.

8. Радевич І. Електронний ніс навчився розпізнавати запахи швидше за мишей. *NaukaUA*. 2024. URL: <https://nauka.ua/news/elektronnij-nis-navchivsyarozpiznavati-zapahi-shvidshe-za-mishej> (дата звернення: 26.01.2026).

9. Understanding the electronic nose: principles, progress, and future directions. *VSPARTICLE*. 2026. URL: <https://vsparticle.com/5/blog/understanding-the-electronic-nose-principles-progress-and-future-directions> (дата звернення: 26.01.2026).

10. Мусієнко О. Електронний «ніс» допоможе розпізнати несвіжість продуктів та «запах» хвороб. URL:<https://www.imena.ua/blog/electronic-nose-will-help-recognize-stale-food-and-the-smell-of-diseases/> (дата звернення: 26.01.2026).

11 Toko K., Tahara Y., Habara M., Kobayashi Y. and Ikezaki H. Taste Sensor. Electronic Tongue with Global Selectivity. *Essentials of Machine Olfaction and Taste: chapter reviews*. Singapore, 2016. P. 87-174). <https://doi.org/10.1002/9781118768495.ch4>

12. Duraiarasu. Electronic Tongue: A Taste-Sensing Technology. URL: <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/electronic-tongue-taste-sensing-technology> (дата звернення: 26.01.2026).

13. Garcia-Hernandez C., Garcia-Cabazon C., Rodriguez-Mendez M.L., Martin-Pedrosa F. Electronic Tongue Technology Applied to the Analysis of Grapes and Wines: A Comprehensive Review from Its Origins. *Chemosensors*. 2025. Vol. 13, No 5. P. 188. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13050188>.

14. R@D recombination sensor (photoelectric “electronic tongue”) for food, liquid and biomaterials control. *Educational Scientific Institute of High*

Technologies. Taras Shevchenko National University of Kyiv. 2026. URL: https://iht.knu.ua/en/science_all/photoelectric-electronic-tongue/ (дата звернення: 26.01.2026).

15. Vanaraj R., Bincy I.P., Mayakrishnan G., Kim I. S., Kim S.-C. A Systematic Review of the Applications of Electronic Nose and Electronic Tongue in Food Quality Assessment and Safety. *Chemosensors*. 2025. Vol. 13, No 5. P. 161. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13050161>

16. Bougrini M., Tahri K., Haddi Z., El Bari N., Llobet E., Jaffrezic-Renault N., Bouchikhi B. Aging time and brand determination of pasteurized milk using a multisensor e-nose combined with a voltammetric e-tongue. *Materials Science and Engineering: C*. 2014. Vol.45. P. 348–358.

17. Rodríguez-Méndez M.L., De Saja J.A., González-Antón R., García-Hernández C., Medina-Plaza C., García-Cabezón C., Martín-Pedrosa F. Electronic Noses and Tongues in Wine Industry. *Front Bioeng. Biotechnol.* 2016. Vol. 25, No 4. P. 81. doi: 10.3389/fbioe.2016.00081.

18. Han F., Zhang D., Aheto J. H., Feng F., Duan T. Integration of a low-cost electronic nose and a voltammetric electronic tongue for red wines identification. *Food Science & Nutrition*. 2020. Vol. 8, No 8. P. 4330–4339.

19. Escriche I., Kadar M., Domenech E., Gil-Sánchez L. A potentiometric electronic tongue for the discrimination of honey according to the botanical origin. Comparison with traditional methodologies: Physicochemical parameters and volatile profile. *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 109, No 3. P. 449–456.

20. Lu L., Hu Z., Hu X., Li D., Tian S. Electronic tongue and electronic nose for food quality and safety. *Food Research International*. 2022. vol. 162, Pt.B. 112214; doi: 10.1016/j.foodres.2022.112214.

21. Xu M., Wang J., Zhu L. The qualitative and quantitative assessment of tea quality based on E-nose, E-tongue and E-eye combined with chemometrics. *Food Chemistry*. 2019. Vol. 289. P. 482–489.

22. Roy R. B., Tudu B., Shaw L., Jana A., Bhattacharyya N., Bandyopadhyay R. Instrumental testing of tea by combining the responses of

electronic nose and tongue. *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 110. P. 356–363.

23. Benedetti S., Buratti S., Spinardi A., Mannino S., Mignani I. Electronic nose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*. 2008. Vol. 47, No 2. P.181–188. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.012>.

24. Sanaeifar A., ZakiDizaji H., Jafari A., de la Guardia M. Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2017. Vol. 97. P. 257–271. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.09.014>.

25. Das J., Mishra H. N. Recent advances in sensors for detecting food pathogens, contaminants, and toxins: a review. *European Food Research and Technology*. 2022. Vol. 248, No 4. P. 1125. DOI:10.1007/s00217-021-03951-3.

26. Zia M, Singh B., Fuku X., Barhoum A., Tian F. A Systematic Review of the Use of Electronic Nose and Tongue Technologies for Detecting Food Contaminants. *Chemosensors*. 2025. Vol. 13, No 7. P. 262. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13070262>

27. Seesaard T., Wongchoosuk C. Recent Progress in Electronic Noses for Fermented Foods and Beverages Applications. *Fermentation*. 2022. Vol. 8, No 7. P. 302. <https://doi.org/10.3390/fermentation8070302>.

28. Śliwińska M., Wiśniewska P., Dymerski T., Wardencki W., Namieśnik J. 8-Advances in Electronic Noses and Tongues for Food Authenticity Testing. *Technology and Nutrition Advances in Food Authenticity Testing*: Woodhead Publishing Series in Food Science. Sawston UK, 2015. P. 201–225. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100220-9.00008-4>

29. Dias L.A., Peres A.M., Vilas-Boas M., Rocha M.A., Estevinho L., Machado A.A.S.C. An electronic tongue for honey classification. *Microchimica Acta*. 2008. Vol. 163, No 1. P. 97–102. doi: 10.1007/s00604-007-0923-8.

30. Veloso A.C.A., Sousa M.E.B.C., Estevinho L., Dias L.G., Peres A.M. Honey Evaluation Using Electronic Tongues: An Overview. *Chemosensors*. 2018. Vol. 6, No 3. P. 28. <https://doi.org/10.3390/chemosensors6030028>.
31. Leon-Medina J.X., Acosta-Opayome D., Fuenmayor C.A., Zuluaga-Domínguez C.M., Anaya M., Tibaduiza D.A. Intelligent electronic tongue system for the classification of genuine and false honeys. *International Journal of Food Properties*. 2023. Vol. 26, No 1. P. 327–343. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2161571>
32. Harzalli U, Rodrigues N, Veloso A.C.A., Dias L.G., Pereira J.A., Oueslati S. A taste sensor device for unmasking admixing of rancid or winey-vinegary olive oil to extra virgin olive oil. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 144. P. 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.016>.

References

1. Zou, Y., Wan, H., Zhang, X., Ha, D. and Wang, P. (2015), “Electronic Nose and Electronic Tongue”, *Bioinspired Smell and Taste Sensors*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp.19–44.
2. Gabrieli, G., Muszynski, M. and Ruch, P. (2022), “Electronic noses and tongues: Current trends and future needs”, *Digital Sensory Science. Applications in New Product Development*, vol. 10, pp.117–133.
3. Tibaduiza, D., Anaya, M., Gómez, J., Sarmiento, J., Perez, M., Lara, C., Ruiz, J., Osorio, N., Rodriguez, K., Hernandez, I. and Sanchez, C. (2024), “Electronic Tongues and Noses: A General Overview”, *Biosensors*, vol. 14(4), p. 190. doi: 10.3390/bios14040190.
4. Lu, L., Hu, Z., Hu, X., Li, D. and Tian, S. (2022). “Electronic tongue and electronic nose for food quality and safety”, *Food research international*, vol. 162. Pt B, 112214. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112214>.
5. Rock, F., Barsan, N. and Weimar, U. (2008), “Electronic Nose: Current Status and Future Trends”, *Chemical Reviews*, vol. 108(2), pp. 705–725.

6. Wilson, A. D. and Baietto, M. (2009), “Applications and advances in electronic-nose technologies”, *Sensors (Basel)*, vol. 9(7), pp. 5099-5148. doi: 10.3390/s90705099.
7. Liang, Z., Tian, F., Yang, S.X., Zhang, C., Sun, H. and Liu, T. (2018), “Study on Interference Suppression Algorithms for Electronic Noses: A Review”, *Sensors*, vol. 18(4), p. 1179. <https://doi.org/10.3390/s18041179>.
8. Radevich I. (2011), “Electronic nose learned to recognize smells faster than mice”, available at: <https://nauka.ua/news/elektronnij-nis-navchivsyarozpiznavati-zapahi-shvidshe-za-mishej> (Accessed 26 January 2026).
9. VSPARTICLE (2026), “Understanding the electronic nose: principles, progress, and future directions”, available at: <https://vsparticle.com/5/blog/understanding-the-electronic-nose-principles-progress-and-future-directions> (Accessed 26 January 2026).
10. Musienko O. (2024), “An electronic “nose” will help recognize stale products and the “smell” of diseases”, available at: <https://www.imena.ua/blog/electronic-nose-will-help-recognize-stale-food-and-the-smell-of-diseases/> (Accessed 26 January 2026).
11. Toko K., Tahara Y., Habara M., Kobayashi Y. and Ikezaki H. (2016), “Taste Sensor. Electronic Tongue with Global Selectivity”, *Essentials of Machine Olfaction and Taste*, John Wiley & Sons Singapore Pte Ltd, Singapore, pp. 87-174. <https://doi.org/10.1002/9781118768495.ch4>
12. Duraiarasu (2023), “Electronic Tongue: A Taste-Sensing Technology”, available at: <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/electronic-tongue-taste-sensing-technology> (Accessed 26 January 2026).
13. Garcia-Hernandez, C., Garcia-Cabazon, C., Rodriguez-Mendez, M.L. and Martin-Pedrosa, F. (2025), “Electronic Tongue Technology Applied to the Analysis of Grapes and Wines: A Comprehensive Review from Its Origins”, *Chemosensors*, vol. 13(5), p. 188. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13050188>.
14. Educational Scientific Institute of High Technologies. Taras Shevchenko National University of Kyiv (2026), “R@D recombination sensor (photoelectric

“electronic tongue”) for food, liquid and biomaterials control”, available at: https://iht.knu.ua/en/science_all/photoelectric-electronic-tongue/ (Accessed 26 January 2026).

15. Vanaraj, R., Bincy, I.P, Mayakrishnan, G., Kim, I. S. and Kim, S.-C. (2025), “A Systematic Review of the Applications of Electronic Nose and Electronic Tongue in Food Quality Assessment and Safety”, *Chemosensors*, vol. 13(5), p. 161. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13050161>

16. Bougrini, M., Tahri, K., Haddi, Z., El Bari, N., Llobet, E., Jaffrezic-Renault, N., and Bouchikhi, B. (2014), “Aging time and brand determination of pasteurized milk using a multisensor e-nose combined with a voltammetric e-tongue”, *Materials Science and Engineering: C*, vol.45, pp. 348–358.

17. Rodríguez-Méndez, M.L., De Saja, J.A., González-Antón, R., García-Hernández, C., Medina-Plaza, C., García-Cabezón C. and Martín-Pedrosa F. (2016), “Electronic Noses and Tongues in Wine Industry”, *Front Bioeng. Biotechnol*, vol. 25(4), 81. doi: 10.3389/fbioe.2016.00081.

18. Han, F., Zhang, D., Aheto, J.H., Feng, F. and Duan, T. (2020), “Integration of a low-cost electronic nose and a voltammetric electronic tongue for red wines identification”, *Food Science & Nutrition*. vol. 8(8), pp. 4330–4339.

19. Escriche, I., Kadar, M., Domenech, E. and Gil-Sánchez, L. (2012), “A potentiometric electronic tongue for the discrimination of honey according to the botanical origin. Comparison with traditional methodologies: Physicochemical parameters and volatile profile”, *Journal of Food Engineering*, vol. 109(3), pp. 449–456.

20. Lu, L., Hu, Z., Hu, X., Li, D. and Tian, S. (2022), “Electronic tongue and electronic nose for food quality and safety”, *Food Research International*, vol. 162, Pt.B, 112214. doi: 10.1016/j.foodres.2022.112214.

21. Xu, M., Wang, J. and Zhu, L. (2019), “The qualitative and quantitative assessment of tea quality based on E-nose, E-tongue and E-eye combined with chemometrics”, *Food Chemistry*, vol. 289, pp. 482–489.

22. Roy, R.B., Tudu, B., Shaw, L., Jana, A., Bhattacharyya, N. and Bandyopadhyay, R. (2012), “Instrumental testing of tea by combining the responses of electronic nose and tongue”, *Journal of Food Engineering*, vol. 110, pp. 356–363.

23. Benedetti, S., Buratti, S., Spinardi, A., Mannino, S. and Mignani, I. (2008), “Electronic nose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life”, *Postharvest Biology and Technology*, vol. 47(2), pp. 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.012>.

24. Sanaeifar, A. ZakiDizaji, H. Jafari, A. and de la Guardia M. (2017), “Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review”, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 97, pp. 257-271. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.09.014>.

25. Das, J. and Mishra, H.N. (2022), “Recent advances in sensors for detecting food pathogens, contaminants, and toxins: a review”, *European Food Research and Technology*, vol. 248(4), p. 1125. DOI:10.1007/s00217-021-03951-3.

26. Zia, M. Singh, B. Fuku, X. Barhoum, A. and Tian F. (2025), “A Systematic Review of the Use of Electronic Nose and Tongue Technologies for Detecting Food Contaminants”, *Chemosensors* vol. 13(7), p. 262. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13070262>

27. Seesaard, T. and Wongchoosuk, C. (2022), “Recent Progress in Electronic Noses for Fermented Foods and Beverages Applications”, *Fermentation*, vol. 8(7), p. 302. <https://doi.org/10.3390/fermentation8070302>.

28. Śliwińska, M. Wiśniewska, P. Dymerski, T. Wardencki, W. and Namieśnik, J. (2015), “8-Advances in Electronic Noses and Tongues for Food Authenticity Testing”, *Woodhead Publishing Series in Food Science “Technology and Nutrition Advances in Food Authenticity Testing”*, Woodhead, Sawston, UK, pp. 201–225. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100220-9.00008-4>

29. Dias, L.A. Peres, A.M. Vilas-Boas, M. Rocha, M.A. Estevinho, L. and Machado, A.A.S.C. (2008), "An electronic tongue for honey classification", *Microchimica Acta*, vol. 163(1), pp. 97-102. doi: 10.1007/s00604-007-0923-8.
30. Veloso, A.C.A. Sousa, M.E.B.C. Estevinho, L. Dias, L.G. and Peres A.M. (2018), "Honey Evaluation Using Electronic Tongues: An Overview", *Chemosensors*, vol. 6(3), p. 28. <https://doi.org/10.3390/chemosensors6030028>.
31. Leon-Medina, J.X. Acosta-Opayome, D. Fuenmayor, C.A. Zuluaga-Domínguez, C.M. Anaya, M. and Tibaduiza, D.A. (2023), "Intelligent electronic tongue system for the classification of genuine and false honeys", *International Journal of Food Properties*, vol. 26(1), pp. 327-343. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2161571>.
32. Harzalli, U. Rodrigues, N. Veloso, A.C.A. Dias, L.G. Pereira, J.A. and Oueslati, S. (2018), "A taste sensor device for unmasking admixing of rancid or winey-vinegary olive oil to extra virgin olive oil", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol.144, pp. 222-231. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.016>.

Отримано редакцією журналу / Received: 29.01.26

Прорецензовано / Revised: 05.02.26

Схвалено до друку / Accepted: 19.02.26