

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-81-2>

УДК 615.322:615.562

СЕМЕНОВ Андрій

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9580-6602>

e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

БОНДАРЕЦЬ Катерина

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0007-1372-4058>

e-mail: bondareckata@gmail.com

СТАЛЬЧЕНКО Олександр

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4764-1502>

e-mail: stalchenko.o.v@vntu.edu.ua

КРИСТОФОРОВ Андрій

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0616-667X>

e-mail: andrew199910kr@gmail.com

ШПИЛЬОВИЙ Олександр

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7094-6542>

e-mail: shpiloviy64@gmail.com

КОНТРОЛЬ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ФІТОЗАСОБІВ (РОСЛИННИХ ЛІКІВ) З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОННОГО НОСА

Контроль якості фармацевтичних фітозасобів є ключовим етапом забезпечення їхньої ефективності, безпеки та відповідності регуляторним стандартам. Поява сучасних інновацій, у тому числі електронного носа, відкриває шлях для швидкої та точної оцінки рослинних ліків. Датчик газу дає змогу виявляти ароматичні речовини та перевіряти їх за контрольними показниками, необхідними для підтримки стійкості та ефективності рослинних засобів. У цьому документі детально розглядаються фундаментальні принципи пристрою штучного нюху, його використання в регульованих процесах фітореємедіації та переваги, які ця технологія пропонує. Цей метод дозволяє ідентифікувати складні суміші летких сполук, виявляти фальсифікації, контролювати якість у реальному часі та відстежувати зміни, пов'язані зі зберіганням або обробкою сировини. Пристрій, що імітує людське нюхання, як вдосконалений інструмент для обстеження, дозволяє швидко та зручно визначати швидкоплинні природні розчинники, які формують унікальний «нюховий відбиток» для кожного зразка. Завдяки цьому стає можливим не тільки керувати калібром сировини та продукції, а й виявляти шахрайство, вимірювати стабільність калібру під час складування та спостерігати за виробничими процедурами. Як електронний ніс для контролю якості фармацевтичних фітозасобів і рослинних ліків автори пропонують використати багатоканальний пристрій розпізнавання запахів і концентрацій газів у реальному часі MSRC-2, який розроблений на кафедрі інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету. Ця робота підкреслює концепцію електронного ольфактометра, його переваги перед звичайними підходами та його відповідне використання у фармацевтичній галузі. Визначаючи важливість, ретельні зусилля забезпечують стандартизацію лікарських засобів рослинного походження за допомогою методу електронного носа, сприяючи перевірці якості та оцінці стабільності, що є першорядним для підвищення безпеки ліків і розвитку сучасних систем контролю.

Ключові слова: електронний ніс, ефективність, контроль якості, рослинна сировина, лікарські засоби, технологічний контроль, інформаційно-вимірювальні технології.

SEMENOV Andrii, BONDARETS Kateryna, STALCHENKO Oleksandr,

KRYSTOFOROV Andrii, SHPYLOVYI Oleksandr

Vinnitsia National Technical University

CHECKING OF PHARMACEUTICAL HERBAL REMEDIES (HERBAL MEDICINES) USING AN ELECTRONIC NOSE

Quality control of pharmaceutical herbal products is a key step in ensuring their efficacy, safety and compliance with regulatory standards. The emergence of modern innovations, including the electronic nose, paves the way for rapid and accurate assessment of herbal medicines. A gas sensor allows the detection of aromatic substances and their verification against control parameters necessary to maintain the stability and efficacy of herbal products. This paper examines in detail the fundamental principles of the artificial olfactory device, its use in the regulation of phytoremediation processes and the advantages that this technology offers. This method allows the identification of complex mixtures of volatile compounds, the detection of adulteration, real-time quality control and monitoring of changes associated with the storage or processing of raw materials. A device that simulates human smell, as an advanced screening tool, allows for the rapid and convenient identification of volatile natural solvents that form a unique "olfactory fingerprint" for each sample. This makes it possible not only to manage the caliber of raw materials and products, but also to detect fraud, measure the stability of the caliber during storage, and monitor production procedures. As an electronic nose for quality control of pharmaceutical herbal remedies and herbal medicines, the authors propose to use a multi-channel device for recognising odours and gas concentrations in real time MSRC-2, which was developed at the Department of

Information Radioelectronic Technologies and Systems of Vinnytsia National Technical University. This work highlights the concept of the electronic olfactometer, its advantages over conventional approaches, and its appropriate use in the pharmaceutical industry. Recognizing the importance, careful efforts ensure the standardization of herbal medicines using the electronic nose method, contributing to quality control and stability assessment, which is paramount for improving drug safety and developing modern control systems.

Keywords: electronic nose, efficiency, quality control, herbal raw materials, medicinal products, process control, information and measurement technologies.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Фармацевтичні фітозасоби, або рослинні лікарські засоби, є важливою складовою сучасної медицини [1]. Їхній попит зростає завдяки природному походженню, позитивному впливу на здоров'я та меншій кількості побічних ефектів порівняно з синтетичними препаратами [2]. Тим не менш, гарантія та стійкість таких предметів є надзвичайно важливою функцією, оскільки від цього залежить їхня ефективність і безпека клієнтів [3]. Серед основних проблем у створенні та регулюванні фітореєдматорів є невідповідність компонентів рослинного походження [4]. Ця різниця багато в чому залежить від погоди і місцевості де вирощують рослинну сировину, від особливості збирання, зберігання та транспортування рослинної сировини. Концентрація біологічно активних сполук у рослинних продуктах може значно коливатися через середовище культивування, що ускладнює розробку терапевтичних фітозасобів [1].

Традиційні підходи до управління якістю на заводі, такі як хроматографія, спектрометрія, фізико-хімічні дослідження та мікробіологічні оцінки, незважаючи на надання точних результатів, мають значні недоліки [1, 4]. Вони дорогі, вимагають тривалої оцінки та залучають виключно кваліфікованих спеціалістів [4]. Ці способи зазвичай не допомагають швидко впоратися з неочікуваними змінами в тому, які продукти виготовляються або як вони виготовляються. Інша проблема полягає у відсутності ефективних методик оцінки складної суміші летючих органічних речовин, які часто вказують на стандарти ботанічних засобів. Наприклад, ефірні олії, що входять до складу багатьох трав'яних сумішей, кардинально змінюють їх цілющу дію [5]. Традиційні процедури перевірки ефемерних речовин передбачають тривалий час і складну апаратуру, що робить їх небажаними для швидкої перевірки в умовах виробництва [1, 5]. У зв'язку з цим існує потреба запровадити нові методи нагляду за якістю, які є швидкими, надійними, бюджетними та зручними для користувачів. Електронні системи нюху оцінюють запахи летких сполук, щоб встановити їх чіткі профілі [5, 6].

Обладнаний електронікою нюховий механізм функціонує як складний приймальний апарат, що імітує здатність людини нюхати. У системі використовується набір детекторів, що реагують на безліч коливань речовин, щоб створити ексклюзивний слід, який полегшує перевірку та оцінку досконалості рослинної сировини [7]. Ця інновація була впроваджена у виробництво продуктів харчування, догляд за шкірою та екологічну оцінку, але її використання в медицині недооцінене [1]. Розгортання електронного механізму нюху в регулюванні ботанічних засобів відкриває нові точки зору для вирішення численних сучасних проблем. Електронний ніс може контролювати етапи виробництва, підвищуючи якість продукції [8]. Така інновація уможливила упорядкувати ботанічні лікувальні засоби шляхом створення ексклюзивних ароматичних сигнатур, які функціонують як верифікатори походження та калібру [1, 7].

Отже, використання електронного носа для нагляду за ботанічними ліками і фармацевтичними фітозасобами є актуальним напрямком для дослідження з метою підвищення якості таких ліків, безпеки та доступності [9]. Це значно покращить поточні регуляторні процедури на додаток до значного прогресу сучасних медичних досліджень і застосування [10]. Тому на сучасному етапі розвитку технологічних процесів створення фармацевтичних фітозасобів виникла необхідність у швидких, точних і доступних методів оцінки фітопрепаратів через їхню варіабельність, зумовлену природними факторами. Впровадження електронного носа може допомогти у стандартизації продукції, забезпеченні її якості та автентичності, а також у покращенні регуляторних процесів у фармацевтичній сфері. Усе вищезазначене зумовило основне завдання цієї роботи – дослідити можливості використання електронного носа для контролю якості рослинних лікарських засобів.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Фармацевтичні фітозасоби, або рослинні лікарські засоби, набули широкої популярності завдяки їхній натуральності та доведеній ефективності при лікуванні багатьох захворювань за довгий час. Проте контроль якості таких препаратів залишається складним завданням через варіативність хімічного складу рослинної сировини, що в свою чергу залежить від умов вирощування, зберігання та переробки.

Традиційні методи контролю якості, хоча й надійні, часто є трудомісткими та дорогими, що обмежує їхнє використання в реальному часі. Одним із перспективних підходів для вирішення цих проблем є використання електронного носа – інструменту, здатного імітувати людську здатність розпізнавати запахи шляхом аналізу летких органічних сполук [1-9].

Електронний ніс забезпечує можливість швидкого, точного та недорогого аналізу фітозасобів, що робить його незамінним у процесі виробництва, зберігання та кінцевого контролю готової продукції [1].

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є аналіз можливості підвищення ефективності контролю фармацевтичних якостей фітозасобів з використанням електронного носа, які враховують різного роду фактори впливу на інформативні параметри. Вирішення цих проблем передбачає використання електронного нюхового пристрою, інструменту, який імітує природне людське розпізнавання нюху шляхом дослідження летючих органічних молекул. Електронна оцінка запаху дає можливість для швидкої, точної та економічно ефективної фітохімічної оцінки, яка стає необхідною для виробництва, зберігання та остаточної експертизи у фармацевтиці.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Електронний ніс (E-Nose) – це електронний прилад, призначений для визначення запахів або присмаків. Він складається з трьох частин: 1) система обробки зразків; 2) система виявлення, яка складається з масиву датчиків газу з селективною вибірковістю; 3) система обробки даних запаху [10].

Інструмент E-nose може з високою точністю та надійністю виявляти наявність різноманітних молекулярних структур незалежно від того, чи пахне він сильніше, чи менше. Крім того, E-nose може виконувати якісний і кількісний аналіз зразків запаху [1].

Порівняно з традиційними методами аналізу запаху, такими як ГХ-МС та інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є E-носи знайшли широке застосування в медицині та охороні здоров'я в сільському господарстві та харчових продуктах, громадської безпеки та екологічному моніторингу. З 1993 року кількість публікацій в області електронного нюху досягла рекорду в понад 14 000 статей. Однак звіти або публікації про застосування систем E-nose для контролю якості фармацевтичних фітозасобів досить обмежена кількість [1].

У таблиці 1 наведено список моделей E-nose для комерційного та некомерційного застосування [1].

Таблиця 1.

Огляд моделей E-nose для комерційних і некомерційних застосувань з різними датчиками [1]

Статус	Модель	Кількість сенсорів	Матеріал	Виробник
Комерційні				
i-Pen, i-Pen3, PEN3	6, 10	MOS	Airsense Analytics	Німеччина
Artinose	38	MOS	Sysca AG	Німеччина
Air quality module	2	MOS	Applied Sensor	Швеція
Bloodhound ST 214	14	CP	Scensive Technologies	Великобританія
Cyranose 320	32	CP	Sensigent	США
FOX 3000, 4000	12, 18	MOS	Alpha MOS	Франція
LibraNose	8	Кварцовий мікроваговий резонатор (QCM)	Technobiochip	Італія
iNose, T-nose	14, 10	MOS	Isenso	Китай
Некомерційні				
Біоелектронні носи			Ольфакторні рецептори	
Носи з молекулярно імпринтованими полімерами			Молекулярно імпринтовані полімери	
Оптичні сенсори			Оптичний матеріал	
Нанобіоелектроніка			Наноматеріали, тваринні рецептори	

Починаючи з 1982 року проводилися дослідження з розвитку технології електронного носа, який зміг би виявляти і розпізнавати запахи і присмаки. Етапи процесу розпізнавання аналогічні людському нюху: виконується ідентифікація, порівняння, кількісне визначення і інші процеси, включаючи зберігання і пошук даних. Однак гедоністичні оцінки специфічні тільки для людського носа, оскільки пов'язані з суб'єктивною думкою. Ці пристрої пройшли серйозний розвиток і використовуються в промислових цілях (табл. 1) [1].

На кафедрі інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету під керівництвом завідувача кафедри д.т.н., проф. Осадчука О.В. був розроблений багатоканальний пристрій розпізнавання запахів і концентрацій газів у реальному часі MSRC-2 [11, стор. 80]. На рис. 1 представлений його зовнішній вигляд [11, 12].



Рис. 1. Багатоканальний пристрій розпізнавання запахів і концентрацій газів у реальному часі MSRC-2: зовнішній вигляд (а) [11, стор. 80] і підключення його до ноутбука (б) [12]

Прилад має такі розміри: 340×140×180 мм (рис. 1,а) [13, стор. 333-334]. Вага: 2,8 кг із батареєю. MSRC-2 має можливість підключення до різних мережевих ресурсів (як мережі 220 В, так і з використанням батареї). Режим роботи від акумулятора забезпечує працездатність приладу протягом 2,5...3 годин. Підключення приладу до комп'ютера забезпечується через стандартний роз'єм USB (рис. 1,б). Вага та автономність приладу дозволяє працювати як в лабораторії, так і в "польових умовах", якщо необхідно провести багаторазові вимірювання. Металевий корпус забезпечує удароміцність та захист приладу від зовнішніх електромагнітних полів, а також забезпечує радіо- та електромагнітну сумісність при роботі в цеху різноманітного електромеханічного обладнання [11, 12].

У багатоканальному розпізнавачі запахів та їх концентрацій (MSRC-2) використовуються мікроелектронні частотні перетворювачі концентрації газів і летких речовин, технічні рішення яких захищені 15 патентами України [13, стор. 333]. Прилад має 12 вимірювальних каналів. База даних визначених речовин становить понад 500 речовин [13, стор. 334]. Результати вимірювання концентрацій складних речовин виводяться на екран при визначенні речовини в циклі визначення, а також окремо по сенсорах в режимі он-лайн. Вимірювання проводяться в реальному масштабі часу. По швидкості наростання інформативного сигналу від сенсорів автоматично може змінюватися швидкість втягування повітря вимірювальну камеру [13, стор. 336].

Д.т.н., проф. Осадчук О.В. і к.т.н., доц. Осадчук Я.О. розробили програму USmellSense для оброблення та відображення результатів вимірювання, а також драйвери для підключення MSRC-2 до комп'ютера [13, стор. 334]. Програма USmellSense проста у використанні та не вимагає особливої підготовки та навчання [13, стор. 334]. Програма працює під різними операційними системами: Linux, Windows 10, Windows 7, 8 (32, 64 bit) [13, стор. 334]. Графічний інтерфейс програми USmellSense показаний на рис. 2 [13, рис. 8.46].

В програмі USmellSense зберігання й читання результатів вимірів здійснюється у вигляді файлів - текстовому (з розширенням .txt) і графічному з розширенням .jpg). У файл із розширенням .txt записуються результати виміру 12 каналів щосекунди, а також номер виміру від моменту включення приладу. У файл із розширенням .jpg відтворюється запис скриншоту екрана при наростанні сигналу по кожному з 12 каналів більше 5%, що дозволяє надалі експертові ідентифікувати речовину якщо це не було зроблено автоматично або при відсутності речовини в базі даних [13, стор. 335].

Якість натуральних трав коливається. За умови відсутності медичної допомоги мінливість якості ліків впливає на клінічне лікування фітотерапією. Тому важливим фактором є доступність ліків. Однак із значним збільшенням соціальних і правових обмежень, а також і швидким змінням медичних стандартів, коливання якості рослинних ліків стало недоліком, який не можна ігнорувати [4].

Стабільна та контрольована якість є основною ознакою препарату. Надмірні коливання якості ускладнюють достовірну оцінку ефективності фітопрепаратів і навіть спричиняють ризики для безпеки життя і здоров'я пацієнтів. Вироблені промислові продукти важко стабілізувати. Концепція оцінки консистентності якості натуральних рослинних лікарських засобів спрямована на розробку методів оцінки для досягнення хімічної однорідності або біоеквівалентності натуральних лікарських рослин у певному діапазоні [5].

Еволюційний процес розвитку методу оцінки стабільності якості натуральних рослинних лікарських засобів є, по суті, процесом поглиблення розуміння якісних характеристик натуральних трав і наукового змісту лікування. Спочатку метод оцінки стабільності якості натуральних трав базується на концепції контролю якості хімічних препаратів, починаючи зі сталості вмісту окремого компонента. З поглибленням досліджень ефективних речовин натуральних трав були виявлені характеристики багатокомпонентної

взаємодії натуральних трав, а об'єкт оцінки хімічної консистенції також еволюціонував від однокомпонентного до багатоконпонентного вмісту та подібність або характерний профіль [6].

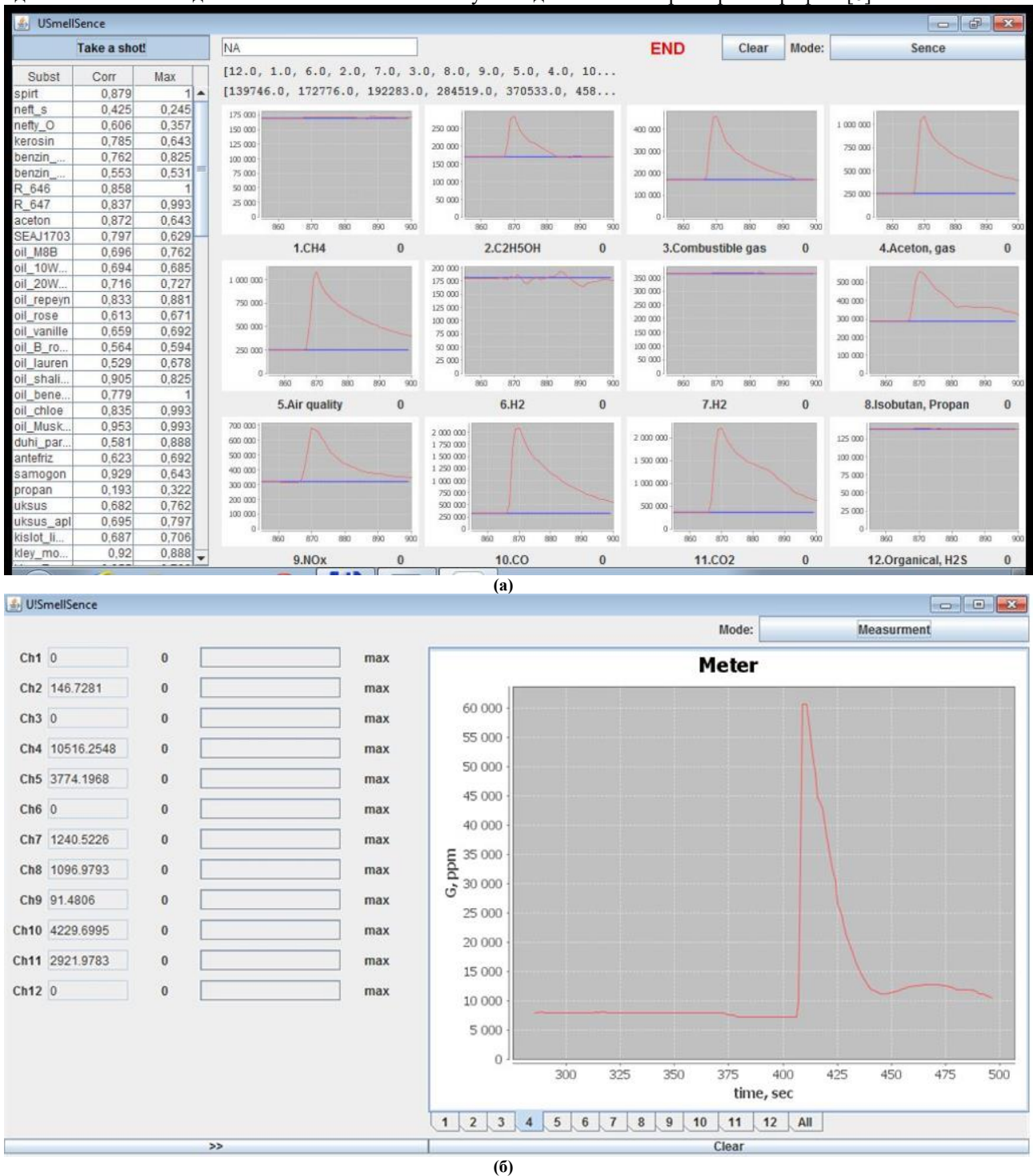


Рис. 2. Інтерфейс програми "USmellSense" в режимі відображення результатів вимірювання концентрації газів і запахів: (а) всі 12 каналів; (б) результати вимірювання окремого (4-го) каналу [13, рис. 8.46]

Насправді існує певний недолік в узгодженості багатоконпонентного вмісту або схожості загального профіля [1]. Недолік узгодженості багатоконпонентного вмісту полягає в тому, що фактичний робочий процес навряд чи може гарантувати повну узгодженість кожного індикаторного компонента різних партій натуральних ліків, якщо єдина цільова сполука не додається штучно без розрахунку вартості. Деякі дослідження показали значний хімічний результат природних ліків з різних джерел [1].

В даний час оцінка схожості профілів запаху вважається відносно закінченим методом, але його недоліки очевидні. По-перше, деякі компоненти не мають ультрафіолетового поглинання, наприклад

полісахариди, білки тощо. По-друге, подібність профілів в основному визначається піками високої кількості на хроматографії, що послаблює внесок деяких високоактивних хроматографічних піків з низьким вмістом. Наприклад, противірусний активний інгредієнт (R,S)-Goitrin в *Radix isatidis* становить лише близько 0,02%, що значно нижче, ніж вміст аденозину та інших компонентів [1]. Коливання вмісту майже не може вплинути на результати оцінки подібності відбитка [1, 7].

Поєднуючи переваги та недоліки цих двох методів, формується метод оцінки узгодженості якісної подвійної перевірки профілів і кількісної перевірки активних компонентів, який контролює не лише загальний контур, але й окремі компоненти. Однак на рівні практичного застосування різні вимоги до працездатності, часових обмежень і аналізу даних спонукали до нової серії технологій [1].

Спочатку, щоб досягти оцінки узгодженості за умови відсутності стандартних матеріалів, був розроблений кількісний аналіз багатьох компонентів одним маркером. Через повільну швидкість і низьку пропускну здатність традиційної хроматографічної та мас-спектрометрії неможливо здійснювати онлайн-моніторинг. Оцінка хімічної консистенції поступово використовує технології зі швидкими, високоєфективними та неруйнівними перевагами, такі як ближня інфрачервона спектроскопія, раман-спектроскопія та лазерно-індукована спектроскопія пробую тощо [1, 8].

Зокрема, ближня інфрачервона спектроскопія відіграє важливу роль в онлайн-моніторингу та забезпеченні узгодженості рослинних промислових продуктів, досягаючи більш загального промислового застосування [9]. Щоб вирішити громіздкі характеристики хімічного аналізу, враховуючи загальні характеристики природних рослинних ліків, деякі фізичні параметри, такі як поверхневий натяг, рН, електропровідність, в'язкість тощо [1].

Також використовується для оцінки узгодженості рослинних ліків спосіб шляхом встановлення моделі кореляції між фізичними параметрами та хімічним складом. Ця модель використовується в промисловій екстракції лікарських трав, оскільки ці параметри надзвичайно легко виміряти, швидко проаналізувати та вчасно регулювати. Завдяки величезному прогресу в хімічному аналізі хімічні оцінки часто дають велику кількість навіть великої кількості хімічної інформації [1, 9].

Дані оцінки узгодженості необхідно об'єднати з аналізом головних компонентів, кластерним аналізом, дискримінантним аналізом часткових найменших квадратів та іншими геометричними методами, щоб зменшити розмірність, візуально відобразити різницю в узгодженості якості та визначити ключові фактори впливу. Проте фармакологічна активність є основною цінністю натуральних трав. Хоча метод оцінки якості на основі хімічної консистенції досяг значного прогресу, він все ще не може відповісти на біологічну консистенцію. Зокрема, чи інформація про хімічну консистенцію, отримана за конкретних умов, відображає послідовність біологічних ефектів; чи вказує мінливість хімічної інформації на непослідовність біологічних ефектів [1].

Насправді природні трави є складною системою хімічного складу, і залежність доза-ефекту нечітка або існує лише в певному діапазоні концентрацій [4]. У результаті все більше уваги приділяється концепції оцінки послідовності активності природних трав за допомогою біотестів [4].

Біологічні аналізи – це, по суті, кількісна фармакологія, яка визначає, що результати тестів сильно корелюють з вибраними тестовими моделями. Моделлю виявлення може бути людина, ціла тварина, тканини та органи *ex vivo*, клітини, органели, бактерії та навіть ферментативні реакції *in vitro*. Як правило, чим більше завершено тест на загальному рівні, тим ближчий результат до фактичної ефективності препарату, тим менше хибних позитивних результатів, але чим слабша працездатність, тим складніша обробка даних [14]. У той же час біотести для оцінки консистенції повинні відповідати технічним вимогам кількісного аналізу [1].

З точки зору доступності методу, точності аналізу, швидкості тощо, краще вибрати такі носії, як клітини, бактерії або методи *in vitro*. Окрім біологічних аналізів, були розроблені профілі біологічної відповіді, профілі експресії біологічних генів, біомаркери тощо, враховуючи складність біологічних реакцій, змін старіння та змін дози та ефекту. Щоб вирішити проблему потоку біоаналізу та збільшити швидкість аналізу, були розроблені такі технології, як біочіпи. Для вирішення проблеми загального внеску багатокомпонентної активності та вмісту в хімічну оцінку деякі науковці запропонували концепцію індексу компонента ефекту, який, по суті, є методом визначення багатокомпонентного вмісту на основі корекції активності [1].

Технічні переваги високої хімічної точності, хорошої популярності та активності, пов'язаної з біологічним аналізом, використовуються всебічно. На цій основі, щоб дати фактичну фармакологічну значущість даних, щоб полегшити операції гарантії узгодженості, такі як змішування партій, і спиратися на концепцію вибухового еквівалента, загальні результати активності багатьох компонентів перетворюються в конкретні еквівалентні дані однієї стандартної речовини. Крім того, у відповідь на оцінку консистенції токсичних трав, ін'єкцій тощо було послідовно отримано комбінацію різних методів хімічної оцінки та методів біологічної оцінки. Зверху природні трави сформували модель багатоцільової оцінки з якісною послідовністю хімічної оцінки, біологічної оцінки та її комбінованої технології. Для конкретних трав або

препаратів слід розробити наукові методи оцінки відповідності якості на основі їхніх характеристик та їхніх відхилень [1].

Основні причини відхилень у партіях можна визначити та підкреслити, що менше ніж 5% були пов'язані з природними варіаціями матеріалу. Часто упередження можуть бути суперечливі даними. Речовини-маркери використовуються для кожного типу рослин, і можна продемонструвати, що рівноважні та кінетично контрольовані рослинні матеріали можна обробляти разом, якщо це передбачено, шляхом пошуку загальних робочих параметрів проектних просторів. Переважно швидкість потоку та об'ємне співвідношення екстракційного середовища щодо середнього розподілу частинок за розміром є ключовими параметрами через відповідний час перебування та вихід. У цьому випадку навіть відхилення основного розміру частинок приблизно на 10% вважалося безпечним [1].

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У статті розглянуто методи, які використовуються для оцінки та контролю стабільності натуральних фітопрепаратів. З модернізацією натуральних рослинних ліків методи оцінки сталості якості натуральних рослинних ліків включали передові аналітичні методи в області хімічної, фізичної та біологічної оцінки використовують сучасні інформаційно-вимірювальні технології [14].

Для окремих рослин якість однієї трави можна оцінити як з хімічного, так і з біологічного аспектів; у той час як багатокомпонентні трав'яні препарати повинні враховувати не тільки вплив різних рослинних інгредієнтів, але також розглядати, як контролювати виробництво онлайн з точки зору процесу рецептури, щоб відповідати вимогам консистенції рецептури. Крім того, необхідно враховувати вплив лікарської форми препарату на консистенцію, такий як розчинення, ступінь розпаду тощо. Тому актуальним напрямом контролю фармацевтичних фітозасобів або рослинних ліків є використання електронного носа (E-nose). Як ефективний інструмент в роботі запропоновано використання 12-канального розпізнавача запахів та їх концентрацій (MSRC-2), що створений на кафедрі Інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету [11-13].

Технологію E-nose можна використати для оцифрування інформації про запах фармацевтичних фітозасобів або рослинних ліків і зробити її об'єктивною для якісного аналізу. Незважаючи на те, що технологія E-nose широко використовувалися в багатьох додатках, на сьогодні мала кількість публікацій щодо застосування систем E-nose у фармакологічній сфері. У роботі показано, що завдяки постійному вдосконаленню та розвитку технології E-nose запах може стати новим кількісним показником для контролю якості фармацевтичних фітозасобів або рослинних ліків, що сприятиме подальшому їх вивченню та розробці нових ліків. У той же час стандартизація запахів і дистанційне дослідження запахів на основі систем E-nose сприятимуть підвищенню ефективності контролю фармацевтичних якостей фітозасобів.

У майбутньому, з впровадженням стандартизації запахів, суб'єктивну інформацію про запахи можна буде перетворити на об'єктивну інформацію і передавати в інші віддалені місця через Інтернет. Це розширить можливості дистанційної оцінки фітопрепаратів і рослинних ліків шляхом використанням електронного носа.

Література

1. Zhou, H., Luo, D., GholamHosseini, H., Li, Z., & He, J. (2017). Identification of Chinese Herbal Medicines with Electronic Nose Technology: Applications and Challenges. In *Sensors* (Vol. 17, Issue 5, p. 1073). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s17051073>
2. Zhan, X., Guan, X., Wu, R., Wang, Z., Wang, Y., & Li, G. (2018). Discrimination between Alternative Herbal Medicines from Different Categories with the Electronic Nose. In *Sensors* (Vol. 18, Issue 9, p. 2936). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s18092936>
3. Mo, Z., Luo, D., Wen, T., Cheng, Y., & Li, X. (2021). FPGA Implementation for Odor Identification with Depthwise Separable Convolutional Neural Network. In *Sensors* (Vol. 21, Issue 3, p. 832). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s21030832>
4. Long, Q., Li, Z., Han, B., Gholam Hosseini, H., Zhou, H., Wang, S., & Luo, D. (2019). Discrimination of Two Cultivars of *Alpinia Officinarum* Hance Using an Electronic Nose and Gas Chromatography-Mass Spectrometry Coupled with Chemometrics. In *Sensors* (Vol. 19, Issue 3, p. 572). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s19030572>
5. Yu, D.-X., Guo, S., Wang, J.-M., Yan, H., Zhang, Z.-Y., Yang, J., & Duan, J.-A. (2022). Comparison of Different Drying Methods on the Volatile Components of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by HS-GC-MS Coupled with Fast GC E-Nose. In *Foods* (Vol. 11, Issue 11, p. 1611). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods11111611>
6. Sun, L., Wu, J., Wang, K., Liang, T., Liu, Q., Yan, J., Yang, Y., Qiao, K., Ma, S., & Wang, D. (2022). Comparative Analysis of *Acanthopanax* Cortex and *Periplocae* Cortex Using an Electronic Nose and Gas

Chromatography–Mass Spectrometry Coupled with Multivariate Statistical Analysis. In *Molecules* (Vol. 27, Issue 24, p. 8964). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules27248964>

7. Luo, D., Fan, D., Yu, H., & Li, Z. (2013). A New Processing Technique for the Identification of Chinese Herbal Medicine. In *2013 International Conference on Computational and Information Sciences* (pp. 474–477). *2013 Fifth International Conference on Computational and Information Sciences (ICCIS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/iccis.2013.131>

8. Zhan, X., Guan, X., Wu, R., Wang, Z., Wang, Y., & Li, G. (2019). Feature Engineering in Discrimination of Herbal Medicines from Different Geographical Origins with Electronic Nose. In *2019 IEEE 7th International Conference on Bioinformatics and Computational Biology (ICBCB)* (pp. 56–62). IEEE. <https://doi.org/10.1109/icbcb.2019.8854643>

9. Xianghao Zhan, Xiaoqing Guan, Rumeng Wu, Zhan Wang, You Wang, Zhiyuan Luo, & Guang Li. (2018). Online conformal prediction for classifying different types of herbal medicines with electronic nose. In *IET Doctoral Forum on Biomedical Engineering, Healthcare, Robotics and Artificial Intelligence 2018 (BRAIN 2018)* (p. 10 (8 pp.)). Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/cp.2018.1730>

10. Osadchuk, O. V., Osadchuk, N. I., Osadchuk, I. O., Seletska, O. O., Kobylanskyi, O. V., Komada, P., & Amirgaliyev, Y. (2019). The mathematical model of frequency gas transducer based on transistor structure with NDR for diagnosis of helicobacter pylori strains. In R. S. Romaniuk & M. Linczuk (Eds.), *Proceedings SPIE, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019* (p. 140). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2536850>

11. Інноваційні розробки університетів і наукових установ МОН України / Колектив авторів за заг. ред. М. Стріхи та М. Льченка. К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017. 278 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/наука/наука-v-universitetax/rozrobkiuniv-monu.pdf>

12. Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем. Наукова робота [Електронний ресурс]. URL: <https://irts.vntu.edu.ua/scientific-work.html>

13. Осадчук Я.О. (2024). Автогенераторні перетворювачі фізичних величин та пристрої на їх основі для комп'ютерних систем і мереж загального та спеціального призначення. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти». Вінницький національний технічний університет, Вінниця. 432 с.

14. Семенов, А., Бондарець, К., Савицький, А., & Войцеховська, О. (2024). Аналіз факторів впливу технологічного контролю лікарських засобів рослинного походження з використанням інформаційно-вимірювальних технологій. In *Measuring and Computing Devices in Technological Processes* (Issue 2, pp. 231–236). Khmelnytskyi National University. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-27>

Подяка. Автори статті висловлюють подяку колективу співробітників кафедри Інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету, зокрема завідувачеві кафедри д.т.н., проф. Осадчуку Олександровичу Володимировичу та доценту кафедри к.т.н., доц. Осадчуку Ярославу Олександровичу, за допомогу при виконанні цієї роботи.

References

1. Zhou, H., Luo, D., GholamHosseini, H., Li, Z., & He, J. (2017). Identification of Chinese Herbal Medicines with Electronic Nose Technology: Applications and Challenges. In *Sensors* (Vol. 17, Issue 5, p. 1073). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s17051073>

2. Zhan, X., Guan, X., Wu, R., Wang, Z., Wang, Y., & Li, G. (2018). Discrimination between Alternative Herbal Medicines from Different Categories with the Electronic Nose. In *Sensors* (Vol. 18, Issue 9, p. 2936). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s18092936>

3. Mo, Z., Luo, D., Wen, T., Cheng, Y., & Li, X. (2021). FPGA Implementation for Odor Identification with Depthwise Separable Convolutional Neural Network. In *Sensors* (Vol. 21, Issue 3, p. 832). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s21030832>

4. Long, Q., Li, Z., Han, B., Gholam Hosseini, H., Zhou, H., Wang, S., & Luo, D. (2019). Discrimination of Two Cultivars of *Alpinia Officinarum* Hance Using an Electronic Nose and Gas Chromatography–Mass Spectrometry Coupled with Chemometrics. In *Sensors* (Vol. 19, Issue 3, p. 572). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s19030572>

5. Yu, D.-X., Guo, S., Wang, J.-M., Yan, H., Zhang, Z.-Y., Yang, J., & Duan, J.-A. (2022). Comparison of Different Drying Methods on the Volatile Components of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by HS-GC-MS Coupled with Fast GC E-Nose. In *Foods* (Vol. 11, Issue 11, p. 1611). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods11111611>

6. Sun, L., Wu, J., Wang, K., Liang, T., Liu, Q., Yan, J., Yang, Y., Qiao, K., Ma, S., & Wang, D. (2022). Comparative Analysis of *Acanthopanax Cortex* and *Periplocae Cortex* Using an Electronic Nose and Gas Chromatography–Mass Spectrometry Coupled with Multivariate Statistical Analysis. In *Molecules* (Vol. 27, Issue 24, p. 8964). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules27248964>

7. Luo, D., Fan, D., Yu, H., & Li, Z. (2013). A New Processing Technique for the Identification of Chinese Herbal Medicine. In *2013 International Conference on Computational and Information Sciences* (pp. 474–477). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iccis.2013.131>

8. Zhan, X., Guan, X., Wu, R., Wang, Z., Wang, Y., & Li, G. (2019). Feature Engineering in Discrimination of Herbal Medicines from Different Geographical Origins with Electronic Nose. In *2019 IEEE 7th International Conference on Bioinformatics and Computational Biology (ICBCB)* (pp. 56–62). IEEE. <https://doi.org/10.1109/icbcb.2019.8854643>

9. Xianghao Zhan, Xiaoqing Guan, Rumeng Wu, Zhan Wang, You Wang, Zhiyuan Luo, & Guang Li. (2018). Online conformal prediction for classifying different types of herbal medicines with electronic nose. In *IET Doctoral Forum on Biomedical Engineering, Healthcare, Robotics and Artificial Intelligence 2018 (BRAIN 2018)* (p. 10 (8 pp.)). Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/cp.2018.1730>

10. Osadchuk, O. V., Osadchuk, N. I., Osadchuk, I. O., Seletska, O. O., Kobylanskyi, O. V., Komada, P., & Amirgaliyev, Y. (2019). The mathematical model of frequency gas transducer based on transistor structure with NDR for diagnosis of helicobacter pylori strains. In R. S. Romaniuk & M. Linczuk (Eds.), *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019* (p. 140). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2536850>

11. Innovative developments of universities and scientific institutions of the Ministry of Education and Science of Ukraine / Team of authors under the editorship of M. Strikha and M. Ilchenko. Kyiv: Institute of the Gifted Child of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine, 2017. 278 с. [Electronic resource]. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/nauka/nauka-v-universitetax/rozrobkiuniv-monu.pdf> (Accessed 10.02.2025 p.)
12. Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems. Scientific work [Electronic resource]. URL: <https://irts.vntu.edu.ua/scientific-work.html> (Accessed 08.02.2025 p.)
13. Osadchuk, I.O. (2024). Self-oscillating transducers of physical quantities and devices based on them for general and special purpose computer systems and networks. Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.13.05 "Computer systems and components". Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. 432 p.
14. Semenov A., Bondarets K., Savytskyi A., & Voitsekhovska O. (2024). Analysis of factors of influence of technological control of herbal medicines using information and measurement technologies. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, (2), 231–236. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-27>