

УДК 663.21+[57.08:581.1/5+519.7]

*Є.В. Бабенко, канд. с.-г. наук,  
О.В. Ковирьова, канд. техн. наук,  
І.Б. Галелюка, канд. техн. наук,  
Г.В. Антонова, мол. наук. спів.,  
А.В. Кедич, мол. наук. спів.,  
О.В. Вороненко, мол. наук. спів.*

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України

*e-mail: sarakhan2006@ukr.net*

## СУЧАСНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ У ВИНОРОБСТВІ, ЇХ УНІФІКАЦІЯ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

*У статті розглядаються хімічні та біохімічні методи аналізу, які використовуються у виноробстві, з акцентом на їх уніфікацію в умовах євроінтеграції. Застосування сучасних методів аналізу, таких як газова хроматографія, титрування та біосенсори, забезпечує високу точність і швидкість оцінки якості виноматеріалів. Особливу увагу приділено перевагам впровадження біосенсорних технологій, що дають змогу малим виробникам зменшити витрати та покращити конкурентоспроможність продукції. Уніфікація стандартів хімічного та біохімічного аналізу сприяє підвищенню якості виноробної продукції та її відповідності міжнародним нормам. Результати дослідження підтверджують важливість впровадження єдиних стандартів для забезпечення якості вин у контексті інтеграції до європейського ринку.*

**Ключові слова:** біосенсори, методи аналізу, виноробство, землеробство, євроінтеграція.

**Вступ.** У сучасному виноробстві контроль якості продукції є важливою складовою, що забезпечує відповідність міжнародним стандартам. Хімічні та біохімічні методи аналізу є основними інструментами для оцінки якості вина. Ці методи дають змогу визначити вміст етанолу, кислот, цукрів, а також виявити органічні та неорганічні компоненти, що впливають на смакові якості продукції.

**Методи аналізу.** У сучасному виноробстві впроваджуються інноваційні технології для покращення якості та точності аналізу продукції. Серед основних інструментів хімічного та біохімічного аналізу особливе місце займають такі методи, як газова хроматографія, рефрактометрія, ферментативний аналіз і біосенсори.

Хімічні методи:

- Визначення вмісту етанолу за допомогою газової хроматографії.
- Аналіз кислотності вина через титрування.
- Визначення вмісту цукрів за допомогою рефрактометрії.

Біохімічні методи:

- Використання біосенсорів для визначення рівня органічних кислот і фенолів.
- Методики, що базуються на ферментативних реакціях для виявлення

специфічних сполук.

Газова хроматографія – один із ключових методів для визначення складу летких сполук, таких як етанол та інші ароматичні компоненти. Ця технологія дає змогу з високою точністю ідентифікувати та кількісно визначати різноманітні хімічні речовини, що безпосередньо впливають на якість вина.

Біосенсори – сучасний інструмент для швидкого і точного визначення концентрації специфічних хімічних сполук у вині. Вони дають змогу вимірювати рівень органічних

кислот, фенолів, амінокислот та інших важливих компонентів. Біосенсори використовують біомолекули, такі як ферменти або антитіла, які взаємодіють зі специфічними речовинами у вині, забезпечуючи високоточний аналіз.

Ферментативний аналіз – цей метод ґрунтується на використанні ферментів для виявлення та кількісного визначення цукрів, кислот та інших органічних речовин у вині. Ферментативні реакції дають змогу точно визначити хімічний склад продукту, що робить цей метод незамінним у контролі якості.

Рефрактометрія – метод, який використовується для вимірювання концентрації цукрів у винограді та вині. Рефрактометри використовують показник заломлення світла для визначення кількості розчинених твердих речовин, таких як цукор, що допомагає оцінити зрілість винограду і кінцеву солодкість вина.

Ці технології забезпечують високу точність і надійність аналізу, що сприяє підвищенню якості виноробної продукції. Їхня уніфікація в умовах євроінтеграції допоможе гармонізувати процеси контролю якості вина та зробить українську виноробну продукцію більш конкурентоспроможною на міжнародних ринках.

**Переваги нової технології.** Впровадження біосенсорних технологій в аналіз вина має суттєві переваги. Вони забезпечують швидкий і точний контроль якості, що є особливо важливим для малих виноробень, які прагнуть зберегти свою конкурентоспроможність на ринку. Ці технології дозволяють проводити аналізи без значних витрат на дороге обладнання, що робить їх доступними для широкого кола виробників.

Найважливіші характерні ознаки біосенсорів – високі чутливість і селективність, простота використання, швидкість аналізу, широкий діапазон речовин, які можна детектувати. Це визначає можливість, а швидше необхідність їх застосування практично в усіх галузях людської діяльності, включно з медициною, фармацевтичною, харчовою, біотехнологічною та хімічною промисловістю, сільським господарством, охороною довкілля тощо. Порівняно з наявними аналітичними методами біосенсори здатні забезпечувати швидкий, надійний, чутливий і дешевий аналіз різноманітних сполук. Біосенсор завжди складається з двох основних частин – біоселективного елемента, що відповідає за розпізнавання та трансляцію інформації з біологічного домену в хімічний або фізичний вихідний сигнал з впевною чутливістю, та перетворювача, який відповідає за трансляцію цього сигналу до електричного домену та його перетворення на аналітично доступну інформацію.

Електрохімічні перетворювачі поділяють на амперометричні, потенціометричні та кондуктометричні. Слід зазначити, що глюкозу можна визначити за допомогою усіх трьох перетворювачів. А для аналізу етанолу придатний лише амперметричний біосенсор. Амперометричний метод ґрунтується на вимірюванні густини чи сили струму, що проходить через електрохімічний осередок із постійним потенціалом. Амперометрична система найчастіше складається з трьох електродів, також існують двоелектродні системи [1]. Амперометрія належить до групи електрохімічних методів досліджень. Більш загальна назва даного метода – вольтамперометрія, що полягає в контролі двох параметрів: потенціалу робочого електрода і струму, що протікає через нього.

Матеріали для виготовлення амперометричних перетворювачів. Більшість із них складається з робочого електрода та матеріалу підкладки. Матеріали електродів – благородні метали: золото, платина і різні форми вуглецю, такі як графіт, активований вуглець, вуглецеве волокно. Як підкладку застосовують кераміку, ситалл, скло, кремній, полістирол, полівінілхлорид.

Технології виготовлення амперометричних сенсорів: трафаретний друк, хімічне нанесення, полімеризація, плазмова полімеризація (вакуумне напилення) мікролітографія. При створенні амперметричних біосенсорів часто використовують клас оксидаз, основні з яких це – глюкозоксидаза, лактатооксидаза, холіноксидаза, алкогольоксидаза. Також у безмедіаторних амперометричних сенсорах використовують другий клас ферментів: альдегіддегідрогіназа, алкогольдегідрогіназа, лактатдегідрогіназа, глутаматдегідрогіназа,

глюкозодегідрогіназа, гліцеролдегідрогіназа. Такі ферменти, як алкогольдегідрогеназа (АДН) і алкогольоксітаза (АО) використовуються для виявлення етанолу. Час відгуку молекули АДН одна, дві хвилини. Переваги АДН – це висока стабільність і точність вимірювань, недоліком при кількісному визначенні є розчинність ферменту, який додається НАД+. Проблема вирішується додаванням метиленового зеленого.

Для посилення стабільності АО в етаноловому сенсорі було використано гідрофобну напівтверду матрицю, ферментні реактори, комплекси на скловуглецевому електроді з додаванням лактіту та позитивно зарядженого похідного декстрану. Для визначення поліфенолів, у вині можна використовувати амперметричний біосенсор з ферментом тирозиназою, який є каталізатором окислення фенолів до хінонової форми. Реакція відновлення відбувається на поверхні графіту, поляризованої при – 200 мВ, порівнянно з контрольним електродом Ag/AgCl. Оскільки багато мікроорганізмів можуть використовувати етанол або метанол як джерело вуглецю та енергії, стає можливим встановити засвоєння алкоголю, використовуючи дихальну активність мікроорганізмів. Їхню дихальну активність безпосередньо може бути виміряно кисневим електродом.

Таким чином, можливе створення мікробного біосенсора для аналізу вмісту спиртів з використанням іммобілізованих мікроорганізмів і кисневого електрода. Це може бути мікробний електрод з іммобілізованої культури дріжджів або бактерій на тефлоновій мембрані, яка здатна пропускати CO<sub>2</sub>, і кисневий електрод, підготовлений для вимірювання етанолу або метанолу. Метод дає можливість безперервного визначення вмісту спирту в середовищі, надійність методу перевірена методом газової хроматографії.

Потенційні компоненти, які можуть бути досліджені за допомогою біосенсорів, можна розділити на групи: спирти, феноли (етанол, метанол, ацетальдегід, фенол, складні ефіри гліцерину, катехін); органічні речовини та кислоти (оцтова, мурашина, глюконова, ізоцітронова, аскорбінова, молочна, яблучна, щавелевооцтова, піровиноградна, бурштинова або нітріоцетова кислота, амінокислоти, аміни, амід, цукри, кофактори, гази, важкі метали, мутагени, вітаміни, антибіотики); неорганічні кислоти (сульфати та сульфід) [2].

**Технічні показники біосенсорів.** У "розумних" біосенсорах, як модуль бездротового обміну даними, використано систему на кристалі nRF82540 виробництва компанії Nordic Semiconductor з підтримкою кількох протоколів бездротового зв'язку, зокрема: Bluetooth 5, Bluetooth Mesh, Thread, Zigbee, 802.15.4, ANT. Система на кристалі містить мікропроцесор з архітектурою ARM і ядром Cortex-M4 з максимальною тактовою частотою в 64 МГц, модулем підтримки операцій з плаваючою крапкою і набором 32-бітних інструкцій. Для можливості інтеграцій у різні пристрої або підключення додаткових модулів передбачено кілька стандартних інтерфейсів, серед яких USB, QSPI, SPI, TWI, I2S та ряд інших. Серед аналогових входів передбачено 8-канальний блок 12-бітних АЦП з програмованим коефіцієнтом підсилення, 4-канальний контролер ШІМ, вхід аудіо-сигналу, 48 входів/виходів загального призначення. Також в модулі nRF82540 наявні 2 порти UART з підтримкою EasyDMA. Оперативна пам'ять складає 256 Мб, а флеш-пам'ять – 1 Мб. Для досягнення найкращих показників споживання енергії в системі на кристалі реалізовано кілька енергоефективних технологій, зокрема апаратне ділення, технологія SIMD на базі 8- і 16-бітних інструкцій та ряд інших. Для захисту даних у систему-на-кристалі інтегровано співпроцесор для підтримки технології шифрування AES та кількох супутніх технологій.

Для нашої прикладної задачі, в якій ключовими критеріями є енергоефективність біосенсорів, довгий час автономної роботи, надійність і стабільність бездротового каналу передавання даних, досить оптимально підходить технологія бездротового обміну даними Bluetooth. У запропонованій системі-на-кристалі nRF82540, як було зазначено вище, реалізовано підтримку протоколу Bluetooth. Для реалізації операцій бездротового обміну даними "розумних" біосенсорів та створення бездротової мережі на базі цих біосенсорів [3-6] обрано протокол Bluetooth 5, який має кілька позитивних особливостей у

сукупності з апаратними засобами системи-на-кристалі. Слід зазначити, що в модулі nRF82540 реалізовано підтримку Bluetooth Mesh, що надалі дасть можливість вивести мережу бездротових "розумних" біосенсорів на дещо вищий рівень мережевої взаємодії.

**Уніфікація стандартів.** Уніфікація методів аналізу є критично важливою в умовах євроінтеграції, адже вона сприяє забезпеченню високої якості винної продукції та її відповідності міжнародним стандартам. Запровадження єдиних стандартів для хімічних і біохімічних методів аналізу допоможе не лише великим виробникам, а й малим виноробням підвищити конкурентоспроможність своєї продукції на світовому ринку.

В умовах євроінтеграції питання уніфікації стандартів хімічного та біохімічного аналізу у виноробстві набуває особливого значення. З огляду на зростаючі вимоги до якості продукції на міжнародних ринках, особливо в країнах Європейського Союзу, українським виробникам необхідно адаптувати свої методи аналізу та контролю до загальноєвропейських стандартів. Це не лише забезпечить відповідність продукції міжнародним вимогам, а й відкриє нові можливості для українських вин на європейському ринку.

**Стандарти якості ЄС.** В ЄС виноробна продукція підлягає суворим регулюванням якості, які стосуються хімічного складу, використання добавок та процедур виробництва. Уніфікація методів аналізу, таких як вимірювання рівня алкоголю, кислотності, цукристості та інших ключових параметрів, є важливим кроком для забезпечення конкурентоспроможності українських виробників. Зокрема, міжнародні стандарти вимагають точного вимірювання складу летких кислот, рівня сульфідів, залишків пестицидів та інших хімічних сполук. Усі ці параметри мають відповідати регламентам Європейської комісії, таких як Регламент ЄС № 1308/2013, що визначає основні вимоги до якості та безпеки вина на ринку ЄС.

**Гармонізація технологій та методів аналізу.** Одним із ключових аспектів уніфікації є гармонізація методів, що використовуються для оцінки хімічного та біохімічного складу винної продукції. Використання сучасних біосенсорів та газової хроматографії не лише дозволяє підвищити точність вимірювань, а й знизити витрати часу на проведення аналізів. Це особливо важливо для малих виробників, які прагнуть відповідати високим стандартам якості, але мають обмежені ресурси для великих лабораторних досліджень. Запровадження єдиних стандартів дасть змогу гармонізувати процеси аналізу продукції між різними країнами та підвищити рівень довіри до української виноробної продукції. Для цього необхідна тісна співпраця між науковими установами, контролюючими органами та виробниками вина з метою розроблення спільних методологій та тестових процедур.

**Переваги для українських виробників.** Уніфікація стандартів також відкриває додаткові можливості для експорту української продукції на європейські ринки. Крім того, гармонізація стандартів сприяє підвищенню якості продукції, що зміцнює позиції українських виробників у глобальній конкурентній боротьбі. Виробники, які впроваджують сучасні методи аналізу відповідно до європейських стандартів, зможуть знизити ризик невідповідності продукції вимогам ринку та отримати доступ до нових торгових можливостей.

Таким чином, уніфікація стандартів хімічного та біохімічного аналізу у виноробстві є важливим фактором для розвитку галузі в умовах євроінтеграції. Вона сприяє поліпшенню якості продукції, підвищенню її конкурентоспроможності на європейському ринку та розширенню експортних можливостей українських виноробів.

**Висновки.** Застосування хімічних та біохімічних методів аналізу в виноробстві, разом з їх уніфікацією, відіграє важливу роль у контролі якості та відповідності продукції міжнародним стандартам. Впровадження новітніх технологій, таких як біосенсори, відкриває нові можливості для українських виноробів у забезпеченні високої якості та конкурентоспроможності на європейському ринку.

### Список використаних джерел

1. Антонова Г. В., Бабенко Є. В., Вороненко О. В., Галелюка І. Б., Кедич А. В., Ковирьова О. В. Біосенсорні прилади у виробництві алкогольних і безалкогольних напоїв. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2021. Vol. 3. С. 103–114. <https://doi.org/10.34229/2707-451X.21.3.9>.
2. Дзядевич С. В., Солдаткін О. П. Наукові та технологічні засади створення мініатюрних електрохімічних біосенсорів. К.: Наукова думка, 2006. 256 с.
3. Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Kovyrova O., Dzyadevych S., Shkotova L. Wireless smart multisensor networks for winemaking process control. *Information theories and applications*. Sofia, Bulgaria, 2019. Vol. 26, N. 2. P.165-177.
4. Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Kovyrova O., Dzyadevych S., Shkotova L. Smart Sensors and Computer Devices for Agriculture, Food Production Process Control and Medicine. *Proceeding of the 29th International Conference on Computer Theory and Applications*. Alexandria, Egypt, October 29–31, 2019. P. 9-13.
5. Романов В. А., Вороненко А. В., Галелюка І. Б. Применение беспроводных сенсорных сетей в пищевой промышленности. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2019. № 18.
6. Патент України на корисну модель № 141975. Пристрій визначення стану нативного хлорофілу. Вороненко О.В., Галелюка І.Б., Романов В.О. Бюл. № 9 від 12.05.2020.

*Ye Babenko, Ph.D. of Agr. Scs, O. Kovyrova, PhD. of Tech. Scs,  
I. Galelyuka., PhD. of Tech. Scs, H. Antonova, Junior Researcher,  
A. Kedych, Junior Researcher, O. Voronenko, Junior Researcher*

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics National Academy of Sciences of Ukraine

### MODERN ANALYSIS METHODS IN WINEMAKING AND THEIR UNIFICATION IN THE CONTEXT OF EUROPEAN INTEGRATION

*This article examines the chemical and biochemical analysis methods used in winemaking, with a focus on their unification in the context of European integration. The use of modern analysis methods, such as gas chromatography, titration, and biosensors, ensures high accuracy and speed in evaluating the quality of wine materials. Special attention is given to the advantages of implementing biosensor technologies, which allow small producers to reduce costs and improve product competitiveness. The unification of chemical and biochemical analysis standards helps to enhance the quality of wine products and ensure their compliance with international regulations. The results of the study confirm the importance of establishing unified standards to maintain wine quality in the context of integration into the European market.*

**Keywords:** biosensors, methods of analysis, winemaking, agriculture, European integration.