

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІМПЕДАНСНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

© Бондирев Віктор, Походило Євген, 2007

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013

Розглянуто проблеми і перспективи застосування імпедансних методів для оцінювання якості харчової продукції. Проаналізовано сучасний стан імпедансних методів контролю якості та їхнє використання за кордоном. Окреслено перспективи подальшого розвитку цих методів та потребу їхнього впровадження в Україні.

Рассмотрены проблемы и перспективы применения импедансных методов для оценивания качества пищевой продукции. Проанализированы импедансные методы контроля качества, их использование за рубежом. Намечены перспективы дальнейшего развития этих методов и потребность их внедрения в Украине.

In the paper problems and aspects of impedance methods implementation for quality control of food product are considered. Modern achievements in impedance methods of quality control outside of Ukraine is discussed. Possibilities of future development of these methods and expediency of their implementation in our country are analyzed.

1. Вступ. Проблема оцінювання якості промислової чи сільськогосподарської продукції (бензинів, деревини, зернових, молочних продуктів тощо) традиційно має важливе практичне значення. Проте найгостріше ця проблема постала у зв'язку з намаганнями України інтегруватися до Європейського Союзу, розширенням ринків збуту української сировини та продукції.

Реалізація асоційованого членства в ЄС, зокрема, режиму вільної торгівлі, передбачає упровадження у Національне законодавство України директив ЄС, що встановлюють вимоги до продукції, а також не менше ніж 80 % євронорм (~ 5000 стандартів), впровадження в Україні стандартизованих технологій виробництва сільськогосподарської продукції на принципах “Усталеної сільськогосподарської практики (Good agricultural practice)”, сприяння розробленню і впровадженню систем управління якістю на основі принципів ISO 9000 та системи управління безпекою харчових продуктів ХАССП (англ. Hazard Analysis and Critical Control Point, скорочено НАССР). Ця система у розвинутих країнах вже давно стала нормою виробництва і визнана найдієвішим засобом забезпечення безпеки продовольчих товарів [1].

2. Проблеми впровадження ХАССП. ХАССП за своєю природою є системою превентивного характеру, основною доктриною якої є припущення, що потенційну загрозу буде виявлено під час виробництва продуктів харчування. Згідно з основними принципами

ХАССП необхідно розробити процедури моніторингу та об'єктивного оцінювання (вимірювання) якості, що можливо лише за умови використання технічних засобів. Вперше методика ХАССП була опрацьована для усунення небезпек мікробіологічного походження, що передбачало виявлення у сировині патогенних мікроорганізмів та продуктів їхньої життєдіяльності.

Одна із найістотніших проблем, яка виникла на шляху впровадження ХАССП, полягала у неефективності наявних методів контролю. З використанням традиційних аналітичних методів виявлення небезпечних бактерій надійний результат можна отримати як мінімум через 30–60 годин після взяття проби, оскільки для підвищення чутливості необхідно здійснити інкубацію, збагачення та селекцію проби. Також необхідно пам'ятати, що більшість подібних мікробіологічних аналізів можуть бути здійснені лише у спеціально обладнаних аналітичних лабораторіях, оскільки вони вимагають застосування вартісного обладнання і кваліфікованого персоналу.

Отже, виникла гостра необхідність у створенні ефективних засобів для виявлення небезпечних патогенних бактерій. Подібні засоби повинні надавати надійні результати тесту у режимі часу, наближеному до реального. Аналіз публікацій у друкованих виданнях та в мережі Інтернет вказує на те, що активні і, головне, успішні пошуки у цьому напрямі ведуться за кордоном [2], [3]. Останні наукові дослідження вказують, що існує принципова можливість здійснення таких тестів методами імпедансної мікробіології.

3. Ровиток імпедансної мікробіології. Ідея застосувати електричні вимірювання для розв'язання задач мікробіології не є новою. У липні 1898 на засіданні Британського медичного товариства у Единбурзі Стюарт (Stewart) зробив доповідь, яка пізніше була опублікована у журналі експериментальної медицини (Journal of Experimental Medicine) під назвою “Зміни електропровідності поживного середовища, що відбуваються у результаті розвитку мікроорганізмів” (“The changes produced by the growth of bacteria in the molecular concentration and electrical conductivity of culture media”).

Під час досліджень Стюарт виявив, що коли у сприятливому середовищі розвиваються патогенні бактерії, вони розщеплюють протеїни, жири та інші складні слабкозаряджені молекули, та перетворюють їх на амінокислоти, жирні кислоти, інші простіші заряджені сполуки, які є продуктами життєдіяльності мікроорганізмів. Цей процес відомий як метаболізм. Саме через зростання концентрації заряджених іонів середовище набуває здатності проводити електричний струм. Було виявлено, що питомий опір середовища містить активну і реактивну компоненти ємнісного та (або) індуктивного характеру, залежить від температури та від частоти тестового сигналу. Отже, в результаті розвитку мікроорганізмів відбувається значна зміна комплексної провідності середовища. Часовий інтервал та швидкість зміни імпедансу є об'єктивними показниками, за допомогою яких можливо оцінити початкову концентрацію мікроорганізмів, (час однієї генерації), швидкість приросту.

Метод, який реалізує принцип вимірювання часового інтервалу, зміни імпедансу, відомий як метод IDT (Impedance Detection Time), та є ефективною альтернативою класичним методам визначення концентрації мікроорганізмів, які, є рутинними і тривалими процедурами.

Подальші роботи здійснювалися Окер-Блумом (Oker-Blom, 1912), Парсонсом і Старгесом (Parsons & Sturges 1926), Макфіліпсом та Сноу (McPhillips & Snow, 1958), проте лише у середині 70-х років метод отримав заслужене визнання. Водночас з цим з'явилися проблемно орієнтовані засоби вимірювання імпедансу. Найпомітніших результатів досягли Ур та Браун (Ur and Brown) у 1973–1975), Кеді (Cady) у 1975 та група вчених із дослідницької лабораторії у Торрі (Torrey), США, Фірштенберг-Іденом та Іденом (Firstenberg-Eden and Eden) у 1984 році, Сіллі та Форсісом

(Silley and Forsythe) у 1996 році, а також Ваверлою (Wawerla) та Олівера (Olivera) у 1999 році [4–6]. Виник новий напрямок – імпедансна мікробіологія.

4. Практична реалізація імпедансного методу.

На особливу увагу заслуговує розвиток безконтактних способів контролю концентрації мікроорганізмів у продуктах харчування, які реалізуються із застосуванням радіочастотних методів. Зокрема, у [3] описано побудову апаратно-програмного комплексу, який складається з резонансного LC-сенсора, поміщеного у досліджуване середовище, приймальної антени, аналізатора імпедансу, під'єданого до комп'ютера із відповідним програмним забезпеченням. Принцип роботи цього комплексу полягає у дистанційному вимірюванні імпедансу LC-сенсора. Розвиток патогенних мікроорганізмів призводить до зміни діелектричної проникності досліджуваного середовища, і, як наслідок, імпедансу LC-сенсора. Вимірювання здійснюються у радіочастотному діапазоні.

Сьогодні методи імпедансного аналізу належать до швидких методів контролю і виявлення мікроорганізмів. Успішні здобутки імпедансної мікробіології знайшли широке застосування у харчовій промисловості і стимулювали розроблення промислових автоматизованих систем швидкого виявлення патогенних мікроорганізмів. Серед таких варто згадати систему RABIT (Rapid Automated Bacterial Impedance Technique (Don Whitley Scientific Ltd Shipley, UK), аналізатор Malthus (Malthus AT analyzer Malthus Instruments, Bury, UK), систему Vitec-Bactometer (BioMerieux, Marcy l'Etoile, France), систему BacTrac™ та аналізатор μ -Trac (Sy-Lab, Purkersdorf-Vienna, Austria).

Значний прогрес, важливість та актуальність цього напрямку найкраще підтверджується тим фактом, що кількість наукових публікацій за цією темою перевищує сотню за останніх десять років.

Оскільки імпедансні методи контролю якості продуктів харчування широко застосовуються, виникла потреба у стандартизації цих методів. Ініціатором виступив Інститут стандартизації Німеччини, який в 1999 році опублікував стандарт за номером 10115 “Основи виявлення і визначення мікроорганізмів в продуктах харчування імпедансним методом”. Стандарт описує принципи і можливі сфери застосування імпедансного методу для оцінювання якості продуктів харчування. З лютого 2006 року набрали чинності такі стандарти, які регламентують застосування імпедан-

сного методу для контролю якості продуктів харчування та напівфабрикатів:

– Німеччина: **DIN 10115**, загальний стандарт **§35 LMBG: L00.00-53**, **DIN 10120** для визначення бактерій сальмонели, **§35 LMBG: L00.00-67**, **DIN 10122** для оцінювання концентрації бактерій;

– Франція: **AFNOR, NF V08-105** – використання імпедансного методу для оцінювання якості продуктів харчування і тваринних кормів, **AFNOR NF V08-106** виявлення бактерії *E.coli* в морепродуктах. Аналогічні стандарти прийняті і чинні в Австрії та Великобританії [7].

Застосування імпедансного методу контролю якості не обмежується його використанням лише у галузі мікробіології, оскільки електричні величини (імпеданс) досліджуваного зразка адекватно відображають відповідні неелектричні одиничні показники якості (домішки, концентрацію, вологість, жирність, октанове число тощо [8]) та пов'язані з ними певною залежністю. Так, у [9] запропоновано оцінювати якості бензину за допомогою цього методу. У праці [10] описано спосіб оцінювання вологості арахісових горіхів за допомогою високочастотного імпедансного методу. У [11] описано застосування імпедансного методу для оцінювання якості фруктів. Аналогічні дослідження здійснювалися для визначення якості цементів [12] та деревини [13].

Отже, можна зробити висновок, що дослідження якості як харчової, так і нехарчової сировини та продукції імпедансним методом є універсальним та об'єктивним способом її оцінювання.

Одним із перспективних практичних напрямів реалізації цього методу є створення математичної моделі досліджуваної продукції у вигляді багатоелементної електричної схеми заміщення із подальшою прив'язкою номінальних значень електричних параметрів цієї моделі до певного відомого рівня якості цієї продукції. Фактично, така сукупність електричних параметрів розглядається як базовий зразок, рівень якості якого встановлено традиційними методиками і стосовно якого доцільно здійснювати порівняння.

Сьогодні у нормативно-технічній документації для продукції неелектричної природи базовий зразок прийнято характеризувати сукупністю неелектричних параметрів. Проте, аналізуючи тенденцію, яка простежується за кордоном щодо розвитку і застосування імпедансних методів контролю, можна прогнозувати, що надалі технічні вимоги і саму нормативно-технічну

документацію необхідно буде розширити і доповнити із урахуванням вимог щодо імпедансного контролю якості продукції. Це передбачає побудову електричної схеми заміщення для кожного окремого типу продукції і напрацювання бази даних, що встановлює взаємозв'язок між електричними параметрами та одиничними показниками якості продукції. Встановлення такої залежності для відомої схеми заміщення може бути здійснено експериментально.

Висновки. Оскільки імпедансний контроль якості продукції реалізується з використанням технічних засобів, за своєю суттю він є інструментальним методом. Перевагами методу імпедансного контролю і систем, які використовують цей метод, є об'єктивність оцінювання, неструктуривність, можливість часткової чи повної автоматизації вимірювання та відносна простота реалізації. Вимірювальні системи та пристрої для вимірювання комплексних провідностей чи комплексних опорів широко застосовуються завдяки високій швидкості вимірювання ($10^{-3} - 10^{-2}$ с) та малій відносній похибці ($10^{-2} - 10^{-1}\%$). Зокрема, такі пристрої використовують для аналізу лінійних та нелінійних електричних кіл на змінному струмі, для контролю технологічних процесів виробництва напівпровідникових приладів, у низькочастотній діелектричній спектроскопії, імпедансній спектроскопії, наукових дослідженнях, а також для контролю якості харчових продуктів, продукції промисловості.

Аналіз публікацій у друкованих виданнях та у мережі Інтернет дає всі підстави стверджувати, що за кордоном імпедансний контроль якості промислової та сільськогосподарської продукції набув широкого застосування і у окремих випадках застосування цього методу закріплено на рівні стандартів. Для цього надаються гранти і здійснюються подальші дослідження для розвитку та впровадження методів і засобів імпедансної спектроскопії у промисловому застосуванні [14].

На особливу увагу заслуговує застосування імпедансного методу для виявлення патогенних бактерій, оскільки саме цей метод є основним підґрунтям для реалізації концепції ХАССП. Це, своєю чергою, потребує ґрунтовних досліджень у цій галузі, результатом яких повинно бути створення програмно-апаратних комплексів, придатних для застосування у харчовій промисловості.

1. Панічев Р. *Європейський знак якості // Якість та стандарти.* – 2005. – №6. 2. Ribeiro T.G., Romestant

- J., Depoortere A., Development, validation, and applications of a new laboratory-scale indirect impedancemeter for rapid microbial control// *Appl Microbiol Biotechnol* (2003).—P. 36–41. 3. Keat Ghee Ong, J. Samuel and other Remote Query Resonant-Circuit Sensors for Monitoring of Bacteria Growth: Application to Food Quality Control//*Sensors* (2002), №2, —P. 219–232. 4. Silley, P., and S. Forsythe Impedance microbiology – A rapid change for microbiologists *J Appl Bacteriol*, 1996. 80: 233–243. 5. Colquhoun, K. O., Timms, S., and Fricker, C. R. 1995. Detection of *Escherichia coli* in potable water using direct impedance technology. *J. Appl. Bacteriol.* 79(6): 635–639. 6. Felice, C. J., Madrid, R. E., Olivera, J. M., Rotger, V. I., and Valentinuzzi, M. E. 1999. Impedance microbiology: quantification of bacterial content in milk by means of capacitance growth curves. *J. Microbiol. Methods.* 351, pp. 37–42. 7. <http://www.sylab.com/standards.htm>. 8. Є. В. Походило, П. Г. Столярчук Імітансний контроль якості продукції // Вісник НУ "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування. – 2002. –№ 445. – С. 46–47. 9. Є. В. Походило, П. Г. Столярчук Контроль якості бензину ємнісним методом // Матеріали VI Міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах" (КУСС-2001).– Вінниця, 8-12 жовтня 2001.– С. 65-68. 10. Kandala C. V. K. Moisture Determination in Single Peanut Pods by Complex RF Impedance Measurement// *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 53, No. 6, December 2004. – P. 1493–1496. 11. Arnold W.M. et al., Electrical impedance methods for assessing fruit quality: avoidance of electrode artifacts. *Acta Hort.*, 1998, No. 464. – P. 85–90. 12. Technical Report No. 29 The Application of Impedance Spectroscopy to Cementitious Systems Issue: AB: May 1999 Heriot-Watt University Edinburgh, UK. 1999.–21 p. 13. P. Miettinen¹, M. Tiitta, R. Lappalainen Evaluation of Wood Properties by New Technologies, EIS-STUDY 12 International Conference on Electrical Bio-Impedance- ICEBI Gdansk'04. 14. http://www.cordis.lu/data/MSS_PROJ_DK_FP4.

УДК 621.317.73

УНІФІКОВАНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ІМІТАНСУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

© Походило Євген, Бойко Тарас, Бубела Тетяна, 2007

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглядаються способи вимірювання імітансу двополюсників, якими можуть подаватися об'єкти контролю різної природи. Наведено їхні схеми реалізації з використанням однотипних вузлів.

Рассматриваются способы измерения иммитанса двухполюсников, которыми могут быть представлены объекты контроля различной природы. Приведены схемы их реализации с использованием однотипных узлов.

The methods off immitance measurement of two-polars which could represent control objects of different nature are under consideration. The schemes of different methods realization with the usage of knots of the same type are notified.

Вступ. Підвищення вимог до безпеки та споживчих властивостей продукції, її конкурентоспроможності ставить задачу побудови єдиної методології контролю показників якості та оцінювання якісного рівня продукції. Серед вимірювальних засобів, які використовуються для контролю якості продукції, широке застосування мають засоби вимірювання параметрів імітансу (імпеданс та адмітанс) двополюсників, якими подаються об'єкти контролю як електричної, так і неелектричної природи [1]. Підхід до

вимірювань характеристик як одних, так і других подібний, однак якщо при вимірюванні параметрів об'єктів електричної природи режим вимірювання адмітансу Y_x чи режим вимірювання імпедансу Z_x вибирається, переважно, з урахуванням вимог розширення діапазону, то контроль параметрів об'єктів неелектричної природи вимагає заданого режиму струму чи напруги незалежно від значень імітансу. Характер імітансу може бути як ємнісним, так і