

советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука. Физматлит, 1990. – 272 с. 3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с. 4. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О

квалиметрии / Под ред. А.В. Гличева. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 172 с. 5. Гличев А.В., Рабинович Г.О., Примаков М.И., Сыницын М.М. Прикладные вопросы квалиметрии.; Под. общ. ред. А.В. Гличева. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 136 с.

УДК 621.317.73

## СПЕКТРАЛЬНІ МЕТОДИ У КВАЛІМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

© Богдан Гриневич, Тарас Бойко, Ігор Приймачук, 2009

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

*Розглянуто особливості застосування спектральних методів для виявлення характеристик властивостей об'єктів квалиметрії в різних частотних діапазонах електромагнітних хвиль.*

*Рассмотрены особенности применения спектральных методов для выявления характеристик свойств объектов квалиметрии в разных частотных диапазонах электромагнитных волн.*

*Peculiarities of spectral method application aimed at detecting qualimetry object properties in the different frequency ranges of electro-magnetic waves are under consideration.*

**Вступ.** Одним з пріоритетних напрямів сучасних фундаментальних та прикладних досліджень є розвиток конкурентоздатних наукомістких технологій з метою створення та впровадження нових методів експрес-контролю, випробувань, оцінювання якості та безпечності продукції. Вимоги споживача щодо якості будь-якого виду продукції невинно зростають, що супроводжується впровадженням заходів, спрямованих на її покращання, а, разом з тим, пошук простих та доступних методів і засобів для оцінювання якісного рівня такої продукції. Не менш актуальним питанням в цій сфері є підвищення точності і вірогідності результатів досліджень.

**Актуальність.** Прикладом сучасних методів вимірювання характеристик властивостей об'єктів та матеріалів є оптичні вимірювання, що нині вже дуже поширені для фізичних і хімічних досліджень, зокрема для якісної та кількісної аналітичної оцінки об'єктів [1]. В оптичних ЗВТ використовується, як правило, та частина електромагнітного випромінювання, яке перебуває в ультрафіолетовій і видимій області та умовно називається оптичним. Їх суть полягає у визначенні ступеня поглинання випромінювання матеріалом об'єкта у вказаній області, яка залежить від електронної структури його молекул і характеризується

оптичною густиною матеріалу. При цьому спостерігається вибірковість поглинання, яка залежить від матеріалу і структури молекул.

Залежно від характеру взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням використовуються сучасні оптичні методи :

– абсорбційні (вимірювання поглинання речовиною світлового випромінювання). До них належать колориметрія, фотоколориметрія, спектрофотометрія, атомно-адсорбційні методи, турбідиметрія (вимірювання інтенсивності випромінювання, яке поглинається незабарвленою суспензією), нефелометрія (вимірювання інтенсивності випромінювання, яке відбивається або розсіюється забарвленою або незабарвленою суспензією);

– емісійні (вимірювання інтенсивності власного випромінювання речовини). До них належать флюорометрія, емісійний спектральний аналіз та полум'яна фотометрія.

Використовуються також методи, основані на явищі поляризації молекул під дією світлового випромінювання :

– рефрактометрія (вимірювання показника заломлення);

– поляриметрія (вимірювання кута обертання площини поляризації поляризованого променя світла, що пройшов через оптично активне середовище);

– інтерферометрія (вимірювання зсуву інтерференції світлових променів при проходженні їх крізь кювети з розчином речовини, розчинником та крізь коліматор).

Серед електричних вимірювальних методів, які застосовують для дослідження якісних властивостей об'єктів кваліметрії [2], можна виділити такі:

– кондуктометричний метод (ґрунтується на вимірюванні електричної провідності об'єктів);

– імпедансний метод (передбачає подання об'єкта як повного опору, складові якого містять інформацію про певні фізико-хімічні властивості);

– діелекметричний метод (об'єкт дослідження подають як міжелектродну складову конденсатора, ємність якого визначається діелектричною проникністю його міжелектродного простору або зміною його геометричних розмірів);

– частотно-дисперсійний метод (ґрунтується на аналізі отриманих в результаті вимірювання амплітудно-частотних чи фазочастотних характеристик об'єкта дослідження, розташованого в колі змінного струму).

Хоча спектральні дослідження традиційно асоціюються з оптичним випромінюванням, їх використовують наприклад, у фізико-хімічних вимірюваннях. Прикладом електричних спектральних досліджень характеристик властивостей матеріалів є імітансна спектроскопія. Суть методу полягає у вивченні отриманого відгуку, що виникає в досліджуваній системі, поданій двополюсником, на вплив збурення у вигляді синусоїдальної напруги з малою амплітудою  $U(t) = U_0 \sin(\omega t)$  різної частоти. Якщо вихідним параметром вважати струм  $I(t) = I_0 \sin(\omega t + \varphi)$ , що протікає в системі, то складові імітансу будуть визначатися як

комплексний опір  $Z(\omega) = \frac{U(t)}{I(t)}$  – імпеданс, або

комплексна провідність  $Y(\omega) = \frac{I(t)}{U(t)}$  – адмітанс.

Оскільки відгук системи зумовлений сукупністю багатьох факторів, для детальнішого опису процесів, що виникають під дією електричного поля, комплексні імітансні дані  $Z = Z' + jZ''$  та  $Y = Y' + jY''$  можна доповнити діелектричною провідністю  $e = e' + je''$  та добротністю.

До переваг методу можна зарахувати можливість опису відгуку системи лінійними формулами, тобто

дотримання принципу суперпозиції; стабільність системи – при усуненні збурення вона повертається в попередній стан; дотримання причинно-наслідкового зв'язку – відсутність відгуку до прикладення сигналу збурення; імітанс повинен бути скінченним – система не містить особливостей в зміні своїх властивостей. Названі особливості дають можливість інтерпретації результатів дослідження імітансу термінами теорії лінійних систем.

Досі імпедансні та адмітансні спектри застосовувалися, переважно, в класичній електриці та у фізичній хімії [3]. У першому випадку досліджувалися властивості об'єктів електричної природи, у другому – для вивчення процесів та властивостей переносу заряду на фазових границях тверде тіло-електроліт чи газове середовище, діелектричних властивостей матеріалів, механізмів електрохімічних реакцій. Теоретично їх застосування для оцінювання якості продукції неелектричної природи було обґрунтовано в роботах [2, 4], однак практичних результатів в цьому напрямку ще небагато. Концепція імітансного контролю якості ґрунтується на вимірюваннях параметрів моделі, якою подається об'єкт в колі змінного струму, а також на умовах та методиках, прийнятих в кваліметрії, дотримання яких дасть змогу реалізувати всі переваги електричного методу оцінювання якості [4].

Імпедансний та адмітансний спектри зручно розглядати на основі аналогової моделі електричної комірки з досліджуваним матеріалом у вигляді «еквівалентної електричної схеми».

Процес проходження електричного струму через об'єкт контролю можна подати як проходження струму в електричному колі, параметри елементів якого відповідають параметрам об'єкта. Кожний із параметрів є джерелом інформації про властивості певної пасивної фізичної величини.

При цьому повинні нормуватися фізико-хімічні властивості великої групи різних видів продукції у вигляді електричних моделей, що описуються математичними виразами, частотний діапазон, а також рівень тестового сигналу за значеннями, за яких не руйнуються як електричні, так і фізико-хімічні властивості (параметри) об'єкта контролю.

Еквівалентними параметрами, які відповідають окремим властивостям вимірювального об'єкта, у вимірювальному експерименті є опір, провідність, ємність та індуктивність.

**Ідея дослідження.** Отже, основним спільним завданням описаних досліджень є виявлення залежностей

оптичних та електричних властивостей об'єктів стосовно їх матеріального складу. Для цього використовується порівняння спектрів інтенсивності поглинання різних молекул, які подаються у графічному чи числовому вигляді. Групи атомів, що зумовлюють певний рівень поглинання чи випромінювання на конкретних ділянках спектра, можуть зустрічатись як в складних будовах молекул, так і в простіших.

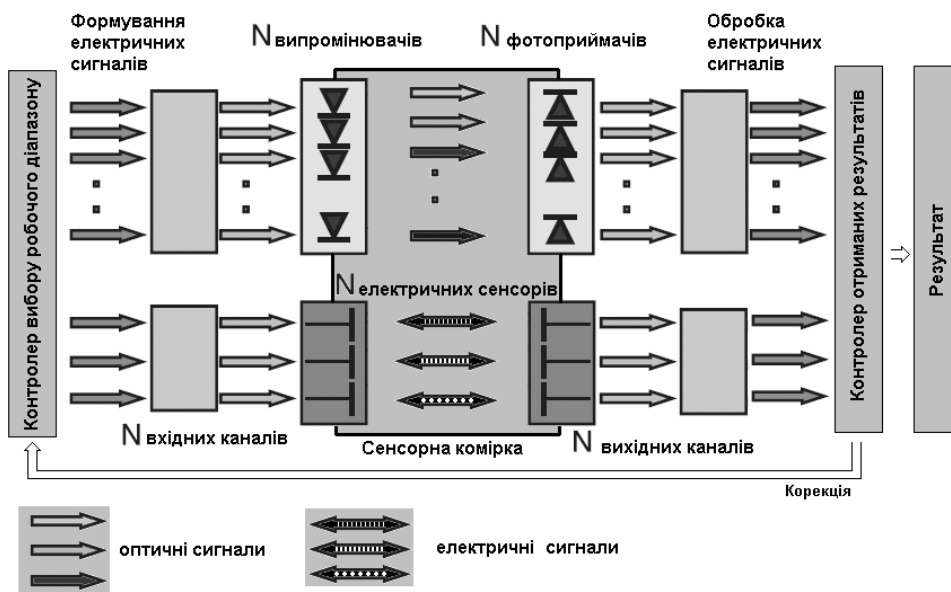
Можна також виконати узагальнену класифікацію перелічених методів, наприклад, за частотними характеристиками в певній області електромагнітного випромінювання. Разом з тим, всі названі методи ґрунтуються на одній спільній ознаці речовини, матеріалу чи виробу, якою є реакція внутрішньої структури, що піддається проходженню оптичного випромінювання чи електричного струму за певних рівнів прикладеного тестового сигналу. Тобто узагальненим параметром об'єктів дослідження можна вважати оптичну густину та комплексний опір (імпеданс) або оптичну та комплексну провідність (адмітанс), тобто імітанс.

Суть пропонованого напрямку досліджень полягає в такому. На основі відомих методів та результатів досліджень у різних галузях [2, 6, 7] здійснити пошук кореляційних зв'язків результатів спектральних досліджень в оптичному, радіо- і звуковому діапазонах електромагнітних хвиль з фізико-хімічними характеристиками об'єктів. Використовуючи згадану вже залежність поглинання випромінювання матеріалом

об'єкта від електронної структури його молекул, в поєднанні з вибірковістю поглинання, яка залежить від структури молекул, а також розширюючи діапазон спектральних досліджень в електричну та акустичну області, можна ідентифікувати молекули матеріалу. Комплексність досліджень буде істотною перевагою методу, оскільки характеристичні групи можуть бути виявлені в молекулах, складність будови яких може змінюватись у широких межах.

Позитивні результати експериментальних пошуків в цьому напрямку стануть основою для створення універсального вимірювального перетворювача з набором різних типів сенсорів, що дало б можливість використовувати як нові, так і існуючі вимірювальні засоби, сучасні мікропроцесорні ЗВТ та обчислювальну техніку. А це, своєю чергою, поповнить спектр засобів споживача новими методиками та універсальними інтелектуальними засобами контролю для оцінки відповідності продукції вимогам нормативних документів, підвищить безпеку та якісний рівень продукції, відповідність і безпечність технологічних процесів, покращить рівень екологічного моніторингу тощо.

Отже, з метою узагальненого підходу до розв'язання задач оцінювання якісного рівня продукції доцільно перелічені методи об'єднати в один комплексний метод, котрий би полягав в оцінці та ідентифікації об'єкта дослідження за результатами його реакції на проходження електромагнітної хвилі, що змінюється в широкому частотному діапазоні (рисунк).



Структурна схема реалізації спектрального контролю характеристик властивостей об'єктів кваліметрії

**Висновки.** Перевага такого підходу може проявитися в ситуаціях, коли на використання традиційних методів накладаються певні фізичні обмеження. Наприклад, особливістю деяких матеріалів є те, що спектри емісії домішок в цих матеріалах видимі неозброєним оком, коли їх нагріти до температури, більшої, ніж 500 °С. Але нагрівання до високих температур може супроводжуватись зміною структури, фазового стану чи руйнуванням матеріалу. Тоді з арсеналу спектральних методів треба вибирати такі, що задовольняють накладені обмеження.

Позитивна специфіка поєднання спектральних методів в єдину комплексну систему може особливо проявитися в істотному розширенні галузі її використання порівняно з окремими методами. Прикладом можуть бути дослідження непрозорого для оптичного випромінювання об'єкта спектральними методами в звуковому чи радіодіапазоні і навпаки, у разі відсутності достатньої провідності матеріалу задіяти оптичні методи. Окрім того, за відсутності можливості дослідження спектра поглинання можна отримати спектр власного випромінювання об'єкта; при виявленні впливу на структуру об'єкта певного діапазону довжин хвиль, що приводить до її зміни, використати інший діапазон, де такий вплив не проявляється тощо,

що, зрештою, дасть можливість досліджувати об'єкт незалежно від його природи.

1. Гриневиц Б.Ю. Способи проведення пірометричних вимірювань // Тези доповідей IX Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2008)». – Вінниця – 2008 р., с.28. 2. Походило Є.В. Розвиток теорії та принципів побудови засобів вимірювання імпедансу об'єктів кваліметрії: Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.11.05 // Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Львів: 2004. – 40 с. 3. Macdonald D.D. Reflection of the history of electrochemical impedance spectroscopy // *Electrochim. Acta*. 2006. Vol. 51. P. 1376–1388. 4. Походило Є.В., Бойко Т.Г., Бубела Т.З. Уніфіковані засоби вимірювання імпедансу для контролю показників якості продукції // *Вимірювальна техніка і метрологія* – 2007. – № 67. – С. 103–108. 5. Походило Є.В., Столярчук П.Г. Імпедансний контроль якості продукції // *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. – 2002. – № 445. – С. 46–51. 6. Гнеденков С.В., Синебрюхов С.Л. Импедансная спектроскопия в исследовании процессов переноса заряда // *Вестн. ДВО РАН*. – 2006. – № 5. – С. 6–16. 7. Barsoukov E., Macdonald J.R. *Impedance spectroscopy: theory, experiment and application*. N.Y.: Wiley. – 2005. – 595 p.