

**ЕЛЕКТРОННА КОЛОРИМЕТРІЯ
БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ РОЗЧИНІВ**

Білецький П.М.

e-mail: pavlo.biletskyi@nure.ua

Науковий керівник – к.ф.м.н., доц. Галат О.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПП
м. Харків, Україна

The work is devoted to the use of the method of calculating optical absorption in a wide spectral range in layered media for the analysis of multicomponent solutions using several emitters of different wavelengths. The proposed method makes it possible to significantly increase the number of solution components that can be monitored simultaneously, increase the reliability of identifying individual components, and improve the accuracy of estimating their concentrations.

The corresponding relationships for the integral absorption coefficient are given, and the conditions for adequate measurement of the concentrations of individual components are evaluated.

Методика колориметричного аналізу розчинів біологічних та хімічних речовин [1, 2] досить поширена і успішно використовується у клінічній біохімії та лабораторній діагностиці, для визначення концентрації гормонів, вимірювання насичення киснем крові. Колориметрія незамінна для моніторингу процесів лікування, зокрема у ході аналізу динаміки зміни концентрації конкретних біомаркерів (наприклад, у антибіотикотерапії, протираковому лікуванні) [3, 4]. Численні прилади на основі комплексів випромінювачів, кольорових фільтрів та відповідних фотоприймачів широко використовуються у вимірюванні концентрацій певних речовин у водних розчинах.

Незважаючи на це, аналіз сумішей речовин, багатокомпонентних розчинів залишається досить складною задачею.

Використання методів розрахунку оптичного поглинання у широкому спектральному діапазоні для шаруватих середовищ [5], адаптованих для багатокомпонентних розчинів з використанням декількох випромінювачів різної довжини хвилі дає можливість значно збільшити кількість компонент розчину, що одночасно контролюються, збільшити вірогідність ідентифікації окремих компонент та підвищити точність оцінки їх концентрацій.

Метою роботи є розробка методу вимірювання концентрацій складових багатокомпонентних розчинів хімічних та біологічних речовин на основі застосування засобів електронної колориметрії.

Закон Бугера-Ламберта-Бера описує перетворення інтенсивності випромінювання, що падає на поверхню речовини або середовища та розпо-

всюджується надалі через речовину/середовище з відповідним експоненційним зменшенням амплітуди.

Закономірність поглинання випромінювання декількома шарами речовини представлена у роботі [5]. Для спрощення розрахунку діапазон випромінювання розбивався на піддіапазони, у яких коефіцієнт поглинання рахувався усередненим та сталим.

Для нашого випадку аналізу концентрацій використовуємо декілька (як мінімум 3) джерел випромінювання фіксованої довжини хвилі (суперлюмінесцентні або лазерні світлодіоди).

Оскільки всі аналізовані компоненти знаходяться у одній ємності, товщина шару d для всіх складових однакова. Тоді для компоненти 1 коефіцієнт поглинання на довжині хвилі 2 дорівнює

$$A_{12} = \alpha_{12} \cdot c_1 \cdot d,$$

де A_{12} – коефіцієнт поглинання розчину, що є логарифмічною мірою зменшення інтенсивності світла після проходження через розчин;

α_{12} – молярний коефіцієнт поглинання компонентою 1 на довжині хвилі 2 (також відомий як молярна абсорбційна здатність), що залежить від природи речовини та довжини хвилі світла, яке використовується в аналізі;

c_1 – концентрація речовини 1 в розчині (зазвичай вимірюється в молях на літр, або моль/л);

d – довжина шляху, яку проходить світло через розчин.

Спектр випромінювання кожного джерела розбивається на декілька ділянок, у межах якої молярний коефіцієнт поглинання α_{12} компоненти 1 усереднюється та вважається константою. Для початку та спрощення розрахунків розподіл ділянок виконуємо для всіх джерел однаковим чином.

Використовуючи формули [5] та адаптуючи його для наших умов отримуємо співвідношення для поглинальної здатності багатокомпонентного середовища одного з трьох каналів (джерел випромінювання):

$$A = \frac{\sum_{k=1}^n [F_k \cdot \lambda_k \cdot [1 - (e^{-A_{1k}} \cdot e^{-A_{2k}} \cdot e^{-A_{3k}} \cdot \dots \cdot e^{-A_{mk}})]]}{\sum_{k=1}^n [F_k \cdot \lambda_k]}$$

де F_k – спектральна щільність потужності випромінювання випромінювання, усереднена по k -му піддіапазону;

λ_k – довжина хвилі сонячного випромінювання, що відповідає центру k -го піддіапазону;

A_{1k} – коефіцієнт поглинання випромінювання компонентою 1 на довжині хвилі, усереднений по k -му піддіапазону;

n – загальна кількість піддіапазонів розбиття поглиненого спектра випромінювання;

k – номер піддіапазону розбиття;

m – кількість компонент розчину, що досліджується.

Для точної ідентифікації та отримання кількісного складу однокомпонентного розчину достатньо одного джерела випромінювання. Зі збільшенням компонент потрібно використовувати відповідну кількість випромінювачів. Альтернативою є використання полосових світлофільтрів, але це призведе до відповідного зменшення потужності світлового променя у вузькому спектральному діапазоні і, як слідство, до зменшення чутливості та діапазону вимірюваних концентрацій.

Враховуючи наведене, можна зробити наступні висновки:

- запропонований метод дозволяє одночасно ідентифікувати та вимірювати концентрації декількох компонент розчину;
- кількість одночасно ідентифікованих та виміряних компонент не може перевищувати число джерел випромінювання (з різними спектрами);
- метод потребує відповідної комп'ютерної обробки результатів вимірювань.

Загалом, враховуючи можливості метода, варто визначити перспективність використання вимірювальних засобів на основі багатопроменевих колориметричних систем для моніторинга природних середовищ, побутових стічних вод, промислових рідин та біологічних об'єктів.

Список використаних джерел:

1. Khoroshaylo Yu., Shlyahov V., Yefymenko S., Sotnik S., Kagramanyan A. Mathematical model of colorimetry. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Приладобудування. 2017. № 54(2). С. 27–32.

2. Хорошайло Ю., Сезонова І., Дегтярьов О., Корбецький М., Білецький П. Дослідження можливостей використання колориметрії в медицині. Метрологія та прилади / Метрологія, прилади, управління якістю. 2024. №2. С. 10–13.

3. Білецький П.М. Електронна колориметрія – сучасний метод вимірювання концентрації речовин. Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : матеріали 29-го Міжнар. молодіж. форуму, 19–21 квіт. 2025 р. Харків, 2026. Т. 1. С. 18–20.

4. Астахова А. А. Колориметричні методи аналізу в медичних дослідженнях. Київ: Медицина, 2019. 156 с.

5. Galat A.B. Calculation of the absorbing capacity of a solar $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ photovoltaic converter. Telecommunications and Radio Engineering. 2018. Vol. 77, No 1. P. 61–67.