

УДК 535.08; 681.7.08

ОЦІНЮВАННЯ ПОХИБОК ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НАДЛИШКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ

Дроменко В. Б.

Київський національний університет технологій та дизайну

Повідомлення 2

В статті наведені результати розрахунку похибок оптико-абсорбційних методів вимірювального контролю концентрації при лінійній, кубічній, логарифмічній функціях перетворення вимірювального каналу, а також функції перетворення, що описується многочленом 3-го степеня.

Ключові слова: оптико-абсорбційний метод вимірювального контролю концентрації, результат вимірювання концентрації, функція перетворення вимірювального каналу, оптично прозорі та забарвлені бінарні розчини

У повідомленні 1 [1] виконане визначення величини зменшення загальної похибки вимірювання концентрації розчинів за рахунок застосування методів надлишкових вимірювань (МНВ). Як було показано у [1], зазначені методи забезпечують високоточні вимірювання при будь-якій нелінійній функції перетворення (ФП) вимірювального каналу: лінійній, кубічній та ФП, що описується многочленом 3-го степеня.

Ця стаття є продовженням попередніх досліджень, а саме оцінювання похибки оптико-абсорбційного методу при логарифмічній ФП вимірювального каналу.

Постановка завдання

Метою роботи є визначення величини зменшення загальної похибки вимірювання концентрації розчинів за рахунок обробки результатів проміжних вимірювань за рівнянням надлишкових вимірювань. В такий спосіб автоматично виключається вплив параметрів нелінійної ФП, від яких залежить мультиплікативна (лінійна та нелінійна) та адитивна складові похибки вимірювання концентрації речовин. Крім того, виключається складова інструментальної похибки вимірювання, яка вноситься елементами оптичного тракту вимірювального каналу.

Об'єктом дослідження є процес вимірювального контролю концентрації оптично прозорих та забарвлених бінарних розчинів.

Методи дослідження ґрунтуються на загальних положеннях: теорії взаємодії електромагнітного випромінювання з речовиною, фізико-хімічної теорії розчинів та чисельних методах розв'язання систем лінійних та нелінійних рівнянь величин.

Результати досліджень

Відносна похибка δ_{m4} зразкових мір оптико-абсорбційного методу [2] контролю концентрації речовин при логарифмічній ФП вимірювального каналу визначається рівнянням величин

$$\delta_m = \frac{\Delta C_x}{C_x} \cdot 100\% = \frac{C_x' - C_x}{C_x} \cdot 100\% \cdot \quad (1)$$

При цьому, з урахуванням похибок відтворення нормованих за значенням концентрації розчинів порівняння та зміни товщини поглинаючого шару речовини, математична модель, яка наведена у [2], може бути записана системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} U_1' &= S_H' \cdot \ln \left[\frac{\Phi_0 \cdot e^{\langle -k_2(l_1+\Delta_l) - [k_1 \cdot (C_1+\Delta_{np}) + k_2(1-C_1-\Delta_{np})] \cdot (l_2+\Delta_l) - B_{он} - B_{ск} \rangle}}{\Phi_t} + 1 \right] + \Delta U', \\ U_{1п}' &= S_H' \cdot \ln \left[\frac{(k_{п}^0 - k_{п}) \cdot \Phi_0 \cdot e^{\langle -k_2(l_1+\Delta_l) - [k_1 \cdot (C_1+\Delta_{np}) + k_2(1-C_1-\Delta_{np})] \cdot (l_2+\Delta_l) - B_{он} - B_{ск} \rangle}}{\Phi_t} + 1 \right] + \Delta U', \\ U_2' &= S_H' \cdot \ln \left[\frac{\Phi_0 \cdot e^{\langle -k_2(l_1+\Delta_l) - [k_1 \cdot (C_2+\Delta_{np}) + k_2(1-C_2-\Delta_{np})] \cdot (l_2+\Delta_l) - B_{он} - B_{ск} \rangle}}{\Phi_t} + 1 \right] + \Delta U', \\ U_3' &= S_H' \cdot \ln \left[\frac{\Phi_0 \cdot e^{\langle -[k_1 \cdot C_x + k_2(1-C_x)] \cdot (l_1+\Delta_l) - [k_1 \cdot (C_2+\Delta_{np}) + k_2(1-C_2-\Delta_{np})] \cdot (l_2+\Delta_l) - B_{он} - B_{ск} \rangle}}{\Phi_t} + 1 \right] + \Delta U', \\ U_4' &= S_H' \cdot \ln \left[\frac{\Phi_0 \cdot e^{\langle -[k_1 \cdot C_x + k_2(1-C_x)] \cdot (l_1+\Delta_l) - [k_1 \cdot (C_1+\Delta_{np}) + k_2(1-C_1-\Delta_{np})] \cdot (l_2+\Delta_l) - B_{он} - B_{ск} \rangle}}{\Phi_t} + 1 \right] + \Delta U' \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

та рівнянням надлишкових вимірювань виду

$$\frac{\ln \left[\frac{\Phi_0 \cdot e^{\langle -[k_1 \cdot C_x + k_2 \cdot (1 - C_x)] l_1 - [k_1 \cdot C_2 + k_2 \cdot (1 - C_2)] l_2 - B_{\text{оп}} - B_{\text{ск}} \rangle} + \Phi_t}{\Phi_0 \cdot e^{\langle -[k_1 \cdot C_x + k_2 \cdot (1 - C_x)] l_1 - [k_1 \cdot C_1 + k_2 \cdot (1 - C_1)] l_2 - B_{\text{оп}} - B_{\text{ск}} \rangle} + \Phi_t} \right]}{\ln \left[\frac{\Phi_0 \cdot e^{\langle -[k_1 \cdot C_2 + k_2 \cdot (1 - C_2)] l_2 - B_{\text{оп}} - B_{\text{ск}} \rangle} + \Phi_t}{\Phi_0 \cdot e^{\langle -[k_1 \cdot C_1 + k_2 \cdot (1 - C_1)] l_2 - B_{\text{оп}} - B_{\text{ск}} \rangle} + \Phi_t} \right]} = \frac{U_3' - U_4'}{U_2' - U_1'} \quad (3)$$

де потужність темного потоку Φ_t визначається за рівнянням величин

$$\frac{\ln \left[\frac{\Phi_0 \cdot e^{\langle -[k_1 \cdot C_2 + k_2 \cdot (1 - C_2)] l_2 - B_{\text{оп}} - B_{\text{ск}} \rangle} + \Phi_t}{\Phi_0 \cdot e^{\langle -[k_1 \cdot C_1 + k_2 \cdot (1 - C_1)] l_2 - B_{\text{оп}} - B_{\text{ск}} \rangle} + \Phi_t} \right]}{\ln \left[\frac{(k_{\text{п}}^0 - k_{\text{п}}) \cdot \Phi_0 \cdot e^{\langle -[k_1 \cdot C_1 + k_2 \cdot (1 - C_1)] l_2 - B_{\text{оп}} - B_{\text{ск}} \rangle} + \Phi_t}{\Phi_0 \cdot e^{\langle -[k_1 \cdot C_1 + k_2 \cdot (1 - C_1)] l_2 - B_{\text{оп}} - B_{\text{ск}} \rangle} + \Phi_t} \right]} = \frac{U_2' - U_1'}{U_{1\text{п}}' - U_1'} \quad (4)$$

Для розрахунку нами використані параметри технічних даних фотодіода ФД307, які наведені в п. 4.2 за [3] та нормовані за значенням концентрації розчини порівняння $C_1 = 4,5\%$ (ваг.) та $C_2 = 5,5\%$ (ваг.), згідно з [4]. Результати обчислювальних досліджень наведені на рис. 1 у вигляді залежності відносної похибки $\delta_{\text{м4}}$ оптико-абсорбційного методу визначення концентрації речовин при логарифмічній ФП вимірювального каналу.

Функція відносної похибки $\delta_{\text{м4}}$ зразкових мір оптико-абсорбційного методу вимірювального контролю концентрації речовин при логарифмічній ФП є монотонною та спадаючою в усьому діапазоні концентрацій C_x (рис. 1, а). Максимальні значення відносної похибки спостерігаються при вимірюванні концентрації слідів елементів $0,1 \leq \{C_x\}$ (рис. 1, б), де вона набуває значення $\delta_{\text{м4}} = 8,83 \cdot 10^{-3}\%$ при $C_x = 0,001\%$ (ваг.) (рис. 1, б, т. В). При зростанні концентрації значення відносної похибки змінюються несуттєво і становлять $\delta_{\text{м4}} \approx 1 \cdot 10^{-4}\%$ (рис. 1, а, т. Б).

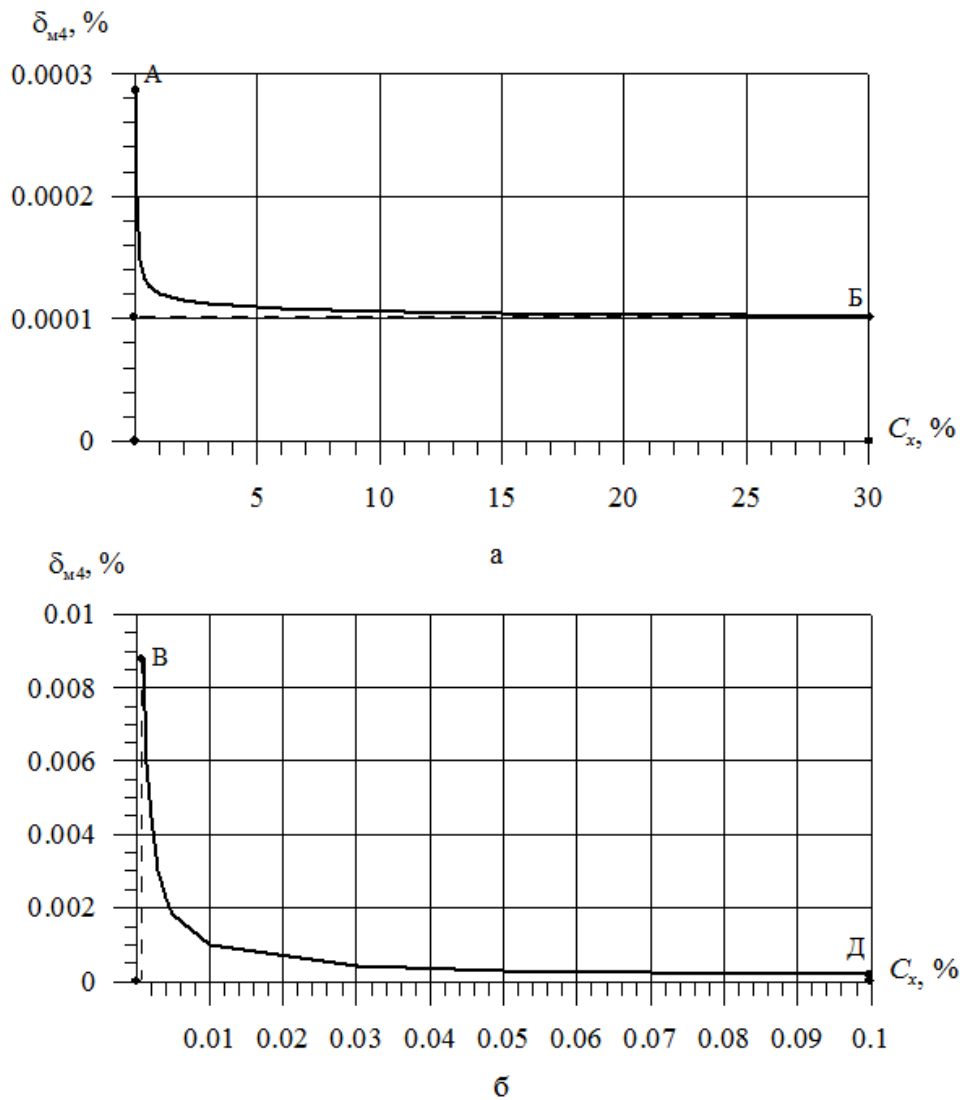


Рис. 1. Залежність відносної похибки вимірювання концентрації розчинів при логарифмічній ФП вимірювального каналу
а – весь діапазон можливих концентрацій;
б – початковий діапазон концентрацій до 0,1% (ваг.)

Висновки

В цілому аналіз показав, що при логарифмічній ФП вимірювального каналу відносна похибка зазначеного методу на один–три порядки менша, ніж похибка приготування нормованого за значенням розчину порівняння. При цьому їхня різниця у три порядки має місце при концентрації $C_x \leq 0,35\%$ (ваг.), у два порядки – при значеннях концентрації $0,35 < \{C_x\} < 5$, а одного порядку – при концентрації $C_x \geq 5\%$ (ваг.).

ЛІТЕРАТУРА

1. Дроменко В. Б. Оцінювання похибок оптико-абсорбційних методів вимірювального контролю концентрації розчинів із застосуванням надлишкових вимірювань / В. Б. Дроменко. // Технології та дизайн. – 2015. – № 2. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/td_2015_2_13.pdf
2. Патент № 80037 С2 Україна. МПК (2007) G 01 N21/85, G 01 J3/00. Спосіб надлишкового визначення концентрації речовин // В.Т. Кондратов, В.Б. Сігар (Україна); заявник та патентовласник Ін-т кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України. – № а200510445; заявлено 07.11.2005, опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12, 2007. – 6 с.
3. RНУТНМ Optoelectronics. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.khalus.com.ua
4. Дроменко В. Б. Оптико-абсорбційний метод вимірювального контролю концентрації бінарних розчинів з автоматичною корекцією похибок: дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / Дроменко Валерія Борисівна. – К., 2009. – 203 с.
5. Булатов М.И. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. / М.И. Булатов, И.П. Калинин. – [5-е изд., перераб.] – Л.: Химия, 1986. – 432 с.
6. Дроменко В.Б. Оцінювання похибки приготування нормованих за значенням концентрацій розчинів порівняння. [Електронний ресурс] / В.Б. Дроменко, В.А. Полонський // Технології та дизайн. – 2013. – №4. – Режим доступу до журн.: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/td_2013_4_3.pdf
7. Дроменко В. Б. Оцінювання похибок класичного диференційного спектрофотометричного методу вимірювального контролю концентрації / В. Б. Дроменко. // Технології та дизайн. – 2014. – № 4. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/td_2014_4_5.pdf
8. Дроменко В. Б. Шляхи отримання інформативної надлишковості в оптико-абсорбційному методі вимірювання концентрації розчинів з автоматичною корекцією похибок / В. Б. Дроменко. // Вісник Хмельницького національного університету. Т. 2 «Технічні науки». – 2011. – №3. – С. 129-132.

Дроменко В. Б.

Оценивание погрешностей оптико-абсорбционных методов измерительного контроля концентрации растворов с применением избыточных измерений. Сообщение 2

Киевский национальный университет технологий и дизайна

В статье приведены результаты расчета погрешностей оптико-абсорбционных методов измерительного контроля концентрации бинарных растворов при различных видах функции преобразования измерительного канала: линейной, кубической, логарифмической, а также функции преобразования, которая описывается многочленом 3-й степени.

Ключевые слова: *оптико-абсорбционный метод измерительного контроля концентрации, результат измерения концентрации, функция преобразования измерительного канала, оптически прозрачные и окрашенные бинарные растворы*

Dromenko V. B.

Evaluation of errors of an optical-absorption methods of measurement control solutions concentration by using redundant measurement. Report 2

Kyiv National University of Technologies & Design

In the articles there are given the calculations results of errors of an optical-absorption methods of measurement control binary solutions concentration in different kinds of the transformation functions of a measuring channel: linear, cube, logarithmic and transformation functions, which is described by the of 3-rd degree polynomial .

Keywords: *optical-absorption methods of measurement control of concentration, result of concentration measuring, transformation function of a measuring channel, optically transparent and painted binary solutions*