

**Л. П. Сидорова**, кандидат хімічних наук,  
доцент кафедри аналітичної хімії,  
Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2916-3749>

**Ю. В. Бохан**, кандидат хімічних наук,  
доцент кафедри природничих наук та методик їхнього навчання,  
Центральноукраїнський державний  
педагогічний університет ім. В. Винниченка, м. Дніпро  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9612-7780>

**Ж. О. Кормош**, кандидат хімічних наук,  
професор кафедри аналітичної хімії та екотехнологій,  
Східноєвропейський національний університет  
ім. Лесі Українки, м. Луцьк  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6018-8787>

**П. П. Пльонсак**, студентка,  
Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро

**Ю. Л. Павленко**, завідувач відділу досліджень  
матеріалів, речовин і виробів,  
Кіровоградський науково-дослідний експертно-криміналістичний  
центр МВС України, м. Кропивницький

## ОДНОЧАСНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ СИНТЕТИЧНИХ БАРВНИКІВ E110 І E124 У СУМІШІ

**Мета** статті – з'ясувати можливість використання методу похідної спектрофотометрії нульового перетину перших похідних для одночасного визначення вмісту синтетичних барвників E110 і E124 у суміші без попереднього розділення та розроблення високочутливої методики їх контролю в безалкогольних напоях. **Методологія.** Для реалізації поставленої мети використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів. Зокрема, застосовуючи теоретичні методи (аналіз та узагальнення, синтез, порівняння, моделювання), систематизовано теоретичні матеріали з проблеми дослідження; емпіричними (діагностичні, методи спостереження, самоспостереження) визначено стан практичної опрацьованості проблеми; організаційно-експериментальними (діагностичний, констатувальний, пошуковий, формувальний, коригувальний експерименти) з якісним аналізом і математичним статистичним обробленням засвідчено ефективність запропонованої методики. Достовірність отриманих результатів забезпечено використанням сучасних фізико-хімічних, математичних, статистичних методів аналізу, а також адекватним обробленням отриманих експериментальних даних. Їх правильність доведено порівнянням із результатами незалежних методів. **Наукова новизна.** Уперше запропоновано використання методу похідної спектрофотометрії нульового перетину перших похідних для одночасного визначення E110 і E124 у модельних сумішах та в реальних об'єктах експертно-криміналістичної експертизи – безалкогольних напоях. Розроблену методику перевірено на модельних сумішах і застосовано для визначення вмісту барвників у безалкогольних напоях. Визначено кількісний вміст барвників E110 і E124 у безалкогольних газованих напоях «Mirinda», «Апельсин» та «Соковита вишня». Засвідчено, що правильність визначення залежить від концентрації кожного компонента і їх співвідношень. Доведено, що похибка визначення не перевищує 7 %, а матриця об'єкта аналізу суттєво не впливає на одержані результати. **Висновки.** Зважаючи на доступність обладнання, простоту, експресність, серійність, техноло-

гічність запропонованої методики визначення вмісту індивідуальних барвників у суміші без попереднього їх розділення, застосування методу похідної спектрофотометрії нульового перетину перших похідних є ефективним методом експертного контролю вмісту синтетичних барвників у безалкогольних напоях, сиропах тощо.

**Ключові слова:** синтетичні барвники; E110 (Жовтий «Сонячний захід»); E124 (Понсо 4R, Яскраво-червоний 4R); метод похідної спектрофотометрії нульового перетину; нульовий перетин перших похідних; безалкогольні газовані напої.

## Вступ

Синтетичні (хімічні) барвники використовують для надання, підсилення та відновлення кольору широкого асортименту харчових продуктів, зокрема й напоїв, забезпечуючи їх різноманітність і високі обсяги виробництва (Fekete, & Tsabouri, 2017). Велика поширеність і небезпека синтетичних барвників зумовлює необхідність їх регламентації. Згідно із Санітарними правилами і нормами по застосуванню харчових добавок (наказ Міністерства охорони здоров'я України від 23 липня 1996 р. № 222) дозволено використання майже 20 найменувань синтетичних барвників. Із них 65 % становлять азобарвники (Smirnov, 2009), гранично допустимі рівні яких залежно від харчового продукту від 30 до 500 мг/кг (мг/дм<sup>3</sup>) (Fekete, & Tsabouri, 2017). Результати досліджень, зокрема Н. Абоел-Захаб (Н. Aboel-Zahab), С. К. Адавал (S. K. Adaval), К. Р. Буттерворц (K. R. Butterworz), Н. А. Волкова, Й. Ф. Гаунт (J. F. Gaunt), И. Кохно (Y. Kohnno), С. Китамура (S. Kitamura), К. В. Мані (K. V. Mani), П. Л. Маисон (P. L. Maison), Т. І. Мельниченко, В. І. Попов, К. І. Рове (K. J. Rowe), К. С. Рове (K. S. Rowe), С. М. Сачдева (S. M. Sachdeva), А. Б. Сисоев, Г. Сідхом (G. Sidhom), Т. Танака (T. Tanaka), Т. Ямада (T. Yamada), З. ел-Кхят (Z. el-Khyat), токсичності синтетичних барвників, зумовленої взаємодією їх (або їх метаболітів) із компонентами харчових продуктів і біологічними структурами організму, засвідчують, що практично всі вони здатні залежно від дози провокувати небажані токсичні ефекти і характеризуються нейротоксичністю, генотоксичністю та канцерогенністю. В організмі людини барвники можуть перетворюватися на потенційно небезпечні токсичні сполуки, викликати головні болі, спричиняти різні алергічні реакції, провокувати розвиток гіперактивності в дітей. Типовою метаболічною реакцією азобарвників в організмі людини є реакція відновлення, коли ензими печінки відновлюють азобарвники до ароматичних амінів, подальше відновлення відбувається під впливом кишкової мікрофлори (Fekete, & Tsabouri, 2017). Саме через це багато країн світу заборонили використання більшості азобарвників у харчових продуктах. Зважаючи на складну екологічну ситуацію в Україні, вживання харчових продуктів, що містять синтетичні барвники (у тому числі азобарвники), сприятиме додатковому хімічному навантаженню на організм, насамперед дитини. Тому постійний токсико-хімічний та санітарно-гігієнічний контроль за їх застосуванням у харчовій промисловості постає беззаперечним першочерговим завданням. Проблема, пов'язана із синтетичними барвниками, загострюється й через брак єдиної нормативної етики їх застосування, що створює труднощі для імпортерів та експортерів харчових продуктів. Адже певний харчовий барвник може бути законний в одній країні і незаконний у другій. Так, синтетичні барвники E110 (Жовтий «Сонячний захід») і E124 (Понсо 4R, Яскраво-червоний 4R) заборонені для використання в харчовій промисловості в багатьох країнах світу (Норвегії, Фінляндії, США та ін.), проте в Україні і Росії вони дозволені для використання в межах допустимої норми.

У цьому контексті слід наголосити, що наявність синтетичних барвників може слугувати індикатором фальсифікації продуктів харчування (забарвлених фруктових

соків, вин тощо). А отже дослідження з ідентифікації та кількісного визначення барвників, використовуваних у харчовій промисловості, сприятимуть вирішенню завдань встановлення відповідності продукції рецептурі, вимогам безпеки, а також можливості застосування єдиних принципів і підходів до проведення таких досліджень у судових експертних установах.

Нині відомо багато методів кількісного визначення азобарвників: високоефективна рідинна хроматографія, спектрофотометричні методи, іонна хроматографія, капілярний електрофорез та ін. (Chmylenko, Minaieva, Sandomyrskyi, & Sydorova, 2008; Andrade et al., 2014; Turak, Dinç, Dülger, & Özgür, 2014; Chmylenko, Minaieva, Sydorova, & Shkurovska, 2014; Sorouraddin, Saadati, & Mirabi, 2015; Heidarizadi, & Tabaraki, 2016; Shestopalova, Petrovich, & Chernova, 2016; Wiczorek et al., 2017; Dumancas et al., 2018; Aurélie, Stefan Bieri, & Nicolas, 2019; Bişgin, 2019; Iammarino et al., 2019; Sadeghi, & Nasehi, 2019; Silaev, Shestopalova, Fomina, & Rusanova, 2019). Проте серед провідних – спектрофотометрія, що становить простий, економічно доступний метод визначення також і багатокомпонентних сумішей барвників із застосуванням різних підходів, хоча більшість спектрофотометричних методик (Heidarizadi, & Tabaraki, 2016; Wiczorek et al., 2017; Dumancas et al., 2018; Aurélie, Stefan Bieri, & Nicolas, 2019; Iammarino et al., 2019; Sadeghi, & Nasehi, 2019) передбачалася для визначення переважно індивідуальних барвників. Розроблені для аналізу хімічних барвників ще 20–25 років тому, натеper вони морально застаріли. До того ж матеріально-технічна база хімічних експертних лабораторій не завжди дозволяє застосовувати сучасні методи визначення барвників, започатковані за кордоном і модифіковані в Україні. Тому розроблення сучасних і доступних методів визначення індивідуальних синтетичних барвників та їх сумішей у харчових продуктах постає актуальним аналітичним завданням у галузі криміналістичної експертизи. Відповідно й методологія застосування спектрофотометрії для їх кількісного визначення потребує удосконалення, оскільки провести ідентифікацію і кількісне визначення близьких за структурою синтетичних барвників (за їх спільної присутності), які мають близькі максимуми на спектрах поглинання, що може спричинити їх накладання та перекривання, доволі складно.

Для вирішення цього завдання пропонується сучасний варіант спектрофотометричного методу аналізу – похідну спектрофотометрію, яку активно застосовують, насамперед коли аналізують складні багатокомпонентні системи.

У похідній спектрофотометрії аналітичним сигналом слугує не оптична густина ( $A$ ), а її похідна  $\Delta A/\Delta \lambda$ . Нині використовують похідні від першого до п'ятого порядку. Похідні спектри характеризуються більш чітко вираженою структурою, ніж вихідні, оскільки ширина спектральної смуги поглинання при диференціюванні зменшується (Iammarino et al., 2019; Bişgin, 2019).

Величина похідної оптичної густини (далі – похідна) прямо пропорційна крутизни нахилу вихідної кривої спектра поглинання; точки перетину цієї похідної з віссю довжин хвиль ( $\lambda$ ) відповідають максимумам і мінімумам у спектрі поглинання, а максимуми і мінімуми на ній – точкам перетину кривої поглинання (Andrade et al., 2014).

Якщо спектр поглинання має один виражений максимум, перша похідна матиме два піки: позитивний – максимальне збільшення; негативний – максимальне зменшення оптичної густини. Координати екстремумів відповідають точкам перетину вихідної лінії поглинання (максимуму поглинання відповідає точка нульового перетину). На цій властивості першої похідної спектра поглинання заснований метод нульового пере-

тину, що є різновидом методів похідної спектрофотометрії (Shestopalova, Petrovich, & Chernova, 2016; Silaev, Shestopalova, Fomina, & Rusanova, 2019).

Характерному максимуму поглинання кожної сполуки багатокомпонентної системи в першій похідній спектра відповідає точка нульового перетину за певної довжини хвилі.

Визначення концентрації компонентів суміші ґрунтується на методі нульового перетину перших похідних, а саме на вимірюванні значення похідної одного компонента за певної довжини хвилі, коли похідна другого компонента набуває нульового значення.

### Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є оцінка принципової можливості використання методу похідної спектрофотометрії нульового перетину перших похідних для одночасного визначення вмісту синтетичних барвників E110 і E124 у суміші без попереднього розділення та розроблення високочутливої методики їх контролю в безалкогольних напоях.

Для реалізації зазначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

надати спектральні характеристики індивідуальних синтетичних барвників E110 і E124 та їх сумішей;

визначити оптимальні параметри для реєстрації спектрів поглинання синтетичних барвників E110 і E124, здійснити їх математичне оброблення – розрахувати першу похідну;

з'ясувати можливість використання методу похідної спектрофотометрії нульового перетину перших похідних для одночасного визначення вмісту синтетичних барвників E110 і E124 без попереднього їх розділення;

запропонувати високочутливу методику визначення вмісту індивідуальних синтетичних барвників E110 і E124 в модельних розчинах і безалкогольних напоях.

### Виклад основного матеріалу

Для дослідження використовували синтетичні барвники E110 (Жовтий «Сонячний захід»)  $\geq 90$  % і E124 (Понсо 4R, Яскраво-червоний 4R)  $\geq 75$  % (рис. 1) виробництва Sigma-ALDRICH, а також їх зразки.

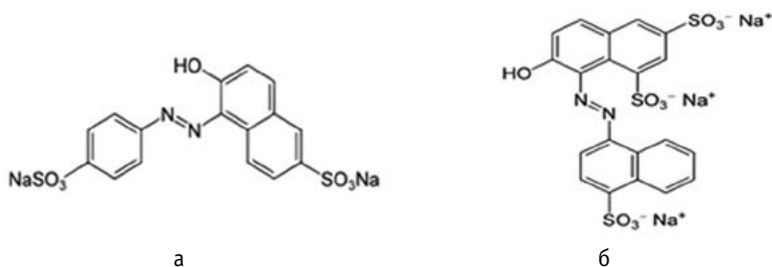


Рис. 1. Структурні формули синтетичних барвників:  
а) E110 (Жовтий «Сонячний захід»); б) E124 (Понсо 4R, Яскраво-червоний 4R)

Стандартні їх розчини концентрацією 0,1 г/л готували розчиненням точних навжок барвників у дистильованій воді. Робочі розчини готували безпосередньо перед експериментом. Для дослідження застосовували реактиви марки не нижче «х. ч.». Електронні спектри поглинання вимірювали на спектрофотометрах SPECORD M 40 (Німеччина) і СФ 46 у кюветі з товщиною поглинального шару 1 см порівняно з водою.

Як об'єкти дослідження використовували модельні системи та безалкогольні напої, що зазвичай надходять для експертизи (зокрема газованій напій «Mirinda»). Вміст барвників визначали методом градувального графіка після попередньої мінімальної прободіготовки (дегазація та центрифугування). Пробу безалкогольного напою попередньо звільняли від карбон (IV) оксиду струшуванням упродовж 20 хв і будь-яких нерозчинних домішок центрифугуванням.

Кількісне визначення барвників виконували методом градувального графіка і методом добавок. Для цього в мірні колби ємністю 25 мл поміщали відповідні їх об'єми концентрацією 0,1 г/л у такий спосіб, щоб одержати розчини концентрацією від 1 мкг/25 мл до 30 мкг/25 мл для кожного барвника. Доводили об'єм розчину до позначки дистильованою водою, перемішували. Використовували лише свіжоприготовлені розчини. Спектри поглинання реєстрували в діапазоні 350–600 нм з інтервалом 2 нм (рис. 2)

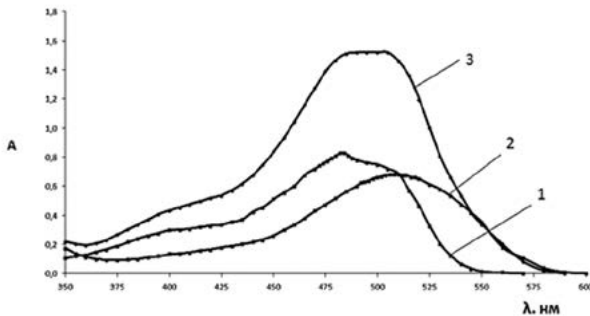


Рис. 2. Спектри поглинання водних розчинів індивідуальних синтетичних барвників E110 (1), E124 (2) та їх суміші (3);  
 $C_{E110} = C_{E124} = 10$  мкг/мл, суміш (1:1)

482 нм. Довжини хвиль обирали так, щоб спектр першої похідної барвника E110 перетинався з віссю абсцис, що відповідає ситуації, коли синтетичний барвник E124 відсутній, і навпаки, тобто вимірювали значення похідної одного компонента за певної довжини хвилі, за якої похідна другого компонента набуває нульового значення.

Для визначення вмісту синтетичного барвника E110 будували градувальні графіки за значеннями перших похідних його спектрів поглинання при  $\lambda = 370$  нм і  $\lambda = 507$  нм

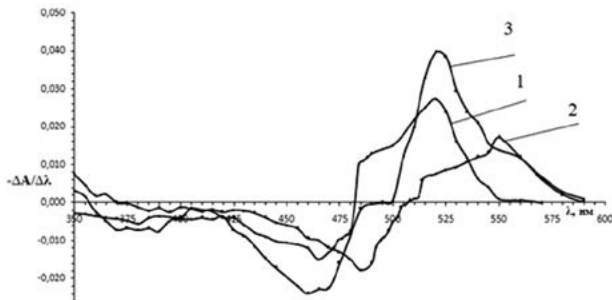


Рис. 3. Перші похідні спектрів поглинання синтетичних барвників E110 (1), E124 (2) та їх суміші (3);  
 $C_{E110} = C_{E124} = 10$  мкг/мл, суміш (1:1)

Аналіз спектрів поглинання водних розчинів синтетичних барвників E110 і E124 засвідчив, що характеристичні максимуми поглинання спостерігаються при  $\lambda = 483$  нм (для E110) і  $\lambda = 508$  нм (для E124).

Оскільки перші похідні спектрів поглинання синтетичних барвників E110 і E124 перекриваються в певних ділянках, то для їх визначення за їх спільної присутності використовували метод нульового перетину при  $\lambda_1 = 507$  нм і  $\lambda_2 = 370$  нм та  $\lambda_3 = 570$  нм і  $\lambda_4 =$

482 нм. Довжини хвиль обирали так, щоб спектр першої похідної барвника E110 перетинався з віссю абсцис, що відповідає ситуації, коли синтетичний барвник E124 відсутній, і навпаки, тобто вимірювали значення похідної одного компонента за певної довжини хвилі, за якої похідна другого компонента набуває нульового значення.

Для визначення вмісту синтетичного барвника E110 будували градувальні графіки за значеннями його перших похідних при  $\lambda = 482$  нм і  $\lambda = 570$  нм – точки нульового перетину першої похідної спектра поглинання синтетичного барвника E124. Для визначення вмісту синтетичного барвника E124 будували градувальні графіки за значеннями його перших похідних при  $\lambda = 482$  нм і  $\lambda = 570$  нм – точки нульового перетину першої похідної спектра поглинання синтетичного барвника E110 (рис. 3; табл. 1).

Таблиця 1

**Градувальні залежності  
для синтетичних барвників E110 і E124 у водному розчині**

Довжина хвилі $\lambda$ , нм	Рівняння	Коефіцієнт кореляції $R^2$	Діапазон концентрацій, мкг/мл
370	$y = -0,0005x + 0,0001$	0,9925	2–14
482	$y = -0,0007x - 0,0018$	0,9864	2–14
507	$y = 0,0016x + 0,0011$	0,9931	2–14
570	$y = 0,0005x + 0,0004$	0,9661	2–14

Наведені рівняння і коефіцієнти кореляції свідчать про лінійність градувальних графіків на вибраному інтервалі концентрацій барвників, що й доводить можливість їх використання для кількісного визначення синтетичних барвників E110 і E124.

Для оцінки правильності визначення вмісту індивідуальних синтетичних барвників E110 і E124 в їх суміші досліджено модельні суміші з різним співвідношенням барвників, склад яких наближений до широко використовуваних у технологіях харчових виробництв для створення певної кольорової гами (табл. 2).

Таблиця 2

**Кількісний склад модельних сумішей  
синтетичних барвників E110 і E124**

№ суміші	E110, мкг/мл	E124, мкг/мл
1	13	3
2	11	5
3	9	7
4	7	9
5	5	11

Результати визначення концентрації синтетичних барвників у модельних сумішах, одержані експериментально методом похідної спектрофотометрії при нульовому перетині перших похідних (табл. 3), свідчать, що правильність визначення вмісту барвників залежить як від концентрації окремих компонентів, так і від їх співвідношення, і окреслюється діапазоном 95–100 %, відповідно відносна похибка визначення у модельних сумішах не перевищує 5 %.

За результатами досліджень запропоновано методику, яка пройшла апробацію на реальних безалкогольних напоях. З використанням методу похідної спектрофотометрії при нульовому перетині перших похідних її застосовано для одночасного визначення вмісту синтетичних барвників E110 і E124, зокрема в безалкогольному газованому напої «Mirinda» (ТОВ «Пепсіко Холдінгс»), що містить барвник E110 (барвник E124 уведено як добавку).

При цьому попередньо обчислили вміст синтетичного барвника E110 у напої за градувальним графіком ( $y = 0,0919x - 0,0376$ ;  $R^2 = 0,9982$ ), що становив  $26 \pm 0,1$  мкг/мл.

Для визначення суміші барвників у напої у мірну колбу ємністю 25 мл поміщали відповідну аліквоту вихідного розчину індивідуального синтетичного барвника E124 концентрацією 0,1 г/л. Додавали аліквоту (2,5 і 5 мл) напою і доводили об'єм розчину до позначки дистильованою водою. Одержані розчини спектрофотометрували за вибраних умов, потім розраховували похідну кожного спектра при оптимальних параметрах.

За допомогою попередньо побудованих градувальних графіків (табл. 1) визначали вміст барвників (табл. 4 і 5).

Таблиця 3

**Результати визначення концентрації  
синтетичних барвників E110 і E124 у модельних сумішах**

Уведено С, мкг/мл	E110		Уведено С, мкг/мл	E124		Правильність, %			
	Знайдено С, мкг/мл			Знайдено С, мкг/мл		λ = 370 нм	λ = 507 нм	λ = 482 нм	λ = 570 нм
	λ = 370 нм	λ = 507 нм		λ = 482 нм	λ = 570 нм				
3	2,9	3,1	13	12,6	12,7	96,7	96,7	96,9	97,7
5	5,1	4,8	11	10,6	11,2	98,0	96,0	96,4	98,2
7	6,9	7,1	9	8,8	9,1	98,6	98,6	97,8	98,9
9	8,7	9,0	7	6,9	7,2	96,7	100,0	98,6	97,1
11	11,3	11,5	5	4,9	5,1	97,3	95,5	98,0	98,0
13	12,8	13,3	3	3,1	3,0	98,5	97,7	96,7	100

Таблиця 4

**Результати визначення вмісту синтетичних барвників E110 і E124  
у газованому напої «Mirinda» (n = 3, P = 0,95)**

Уведено С, мкг/мл		Знайдено С, мкг/мл ± Δ С (x)			
E110	E124	E110		E124	
		λ = 370 нм	λ = 507 нм	λ = 482 нм	λ = 570 нм
2,6	6	2,58 ± 0,16	2,68 ± 0,20	5,91 ± 0,29	5,86 ± 0,32
5,2	4	5,06 ± 0,17	5,28 ± 0,28	4,00 ± 0,24	3,88 ± 0,25

Таблиця 5

**Метрологічні характеристики для оцінки правильності  
методики визначення вмісту синтетичних барвників E110 і E124  
із використанням методу похідної спектрофотометрії  
при нульовому перетині перших похідних**

Правильність, %				Відносне відхилення Sr, %				Систематична похибка δ, %			
E110		E124		E110		E124		E110		E124	
λ = 370 нм	λ = 507 нм	λ = 482 нм	λ = 570 нм	λ = 370 нм	λ = 507 нм	λ = 482 нм	λ = 570 нм	λ = 370 нм	λ = 507 нм	λ = 482 нм	λ = 570 нм
99,2	96,9	96,0	97,7	6,4	6,3	4,4	5,7	6,7	6,0	5,0	6,9
97,3	96,5	100,0	97,0	2,6	6,1	6,8	6,4	3,3	7,0	6,5	6,3

Розроблену методику також апробовано на безалкогольних напоях «Апельсин» – із додатковим уведенням синтетичного барвника E124 (5 мкг/мл) і «Соковита вишня» – із уведенням синтетичного барвника E110 (2,5 мкг/мл) із метою визначення в них заявлених виробниками барвників (табл. 6).

Таблиця 6

**Результати визначення вмісту синтетичних барвників E110 і E124 у газованих напоях «Апельсин» і «Соковита вишня» (n = 3, P = 0,95)**

Газований напій	(C (E110) ± Δ C(x)), мкг/мл		(C (E124) ± Δ C (x)), мкг/мл	
	λ = 370 нм	λ = 507 нм	λ = 482 нм	λ = 570 нм
«Апельсин»	11,8 ± 0,50	12,41 ± 0,51	4,9 ± 0,21	5,1 ± 0,23
«Соковита вишня»	2,40 ± 0,11	2,48 ± 0,16	11,36 ± 0,47	11,16 ± 0,45

### Наукова новизна

Уперше запропоновано використання методу похідної спектрофотометрії нульового перетину перших похідних для однозначного визначення E110 і E124 у модельних сумішах та в реальних об'єктах експертно-криміналістичної експертизи – безалкогольних напоях. Розроблену методику перевірено на модельних сумішах і застосовано для визначення вмісту барвників у безалкогольних газованих напоях «Mirinda», «Апельсин» та «Соковита вишня». Засвідчено, що правильність визначення залежить від концентрації кожного компонента і їх співвідношень. Доведено, що похибка визначення не перевищує 7 %, а матриця об'єкта аналізу суттєво не впливає на одержані результати.

### Висновки

Здійснено вибір оптимальних параметрів для реєстрації спектра поглинання синтетичних барвників E110 і E124 та їх математичне оброблення. Доведено, що спектри поглинання їх водних розчинів мають широкі полоси поглинання з характеристичними максимумами при λ = 483 нм для E110 і λ = 508 нм для E124. З'ясовано значення нульових перетинів перших похідних спектрів поглинання індивідуальних барвників при оптимальному кроці диференціювання Δλ = 2 нм, які склали для E124 – 482,5 нм і 507 нм та для E110 – 370 нм і 507 нм відповідно. Розроблено методику визначення вмісту індивідуальних синтетичних барвників E110 (Жовтий «Сонячний захід») і E124 (Понсо 4R, Яскраво-червоний 4R) в безалкогольних газованих напоях методом похідної спектрофотометрії при нульовому перетині перших похідних, яка дозволяє отримати результат, похибка якого не перевищує 7 %. При цьому матриця об'єкта не робить істотного впливу на результат.

З огляду на доступність обладнання, простоту, експресність, серійність, технологічність запропонованої методики визначення вмісту індивідуальних барвників у суміші без попереднього їх розділення доведено ефективність застосування методу похідної спектрофотометрії при нульовому перетині перших похідних для експертного контролю вмісту синтетичних барвників у безалкогольних напоях, сиропах тощо.



## References

- Andrade, De., Florindo F. I., Guedes, M. I., Pinto Vieira, Í. G., Pereira Mendes, F. N., Salmito Rodrigues, P. A. ... de Matos Ribeiro, L. (2014). Determination of synthetic food dyes in commercial soft drinks by TLC and ion-pair HPLC. *Food Chemistry* (Vol. 157, p. 193–198). DOI:10.1016/j.foodchem.2014.01.100.
- Aurélié, P., Stefan Bieri, B., & Nicolas, M. (2019). SWATH-MS screening strategy for the determination of food dyes in spices by UHPLC-HRMS. *Food Chemistry* (Vol.10 (1), p. 1–10). DOI:10.1016/j.fochx.2019.100009.
- Bişgin, A. T. (2019). Simultaneous Extraction and Determination of Allura Red (E129) and Brilliant Blue FCF (E133) in Foodstuffs by Column Solid-Phase Spectrophotometry. *Journal of AOAC International* (Vol. 102 (1), p. 181–188). DOI:10.5740/jaoacint.18-0073.
- Chmylenko, F. O., Minaieva, N. P., Sandomyrskiy, O. V., & Sydorova, L. P. (2008). Identyfikatsiia barvnykiv v napoiakh metodom vysokoeffektyvnoi ridynnoi khromatohrafii. *Kharchova promyslovist*, 7, 17–19. Uziamo z [http://old1.nuft.edu.ua/pdf\\_doc/zhurnal/h\\_prom/7/7\\_6.pdf](http://old1.nuft.edu.ua/pdf_doc/zhurnal/h_prom/7/7_6.pdf) [in Ukrainian].
- Chmylenko, F. O., Minaieva, Yu. A., Sydorova, L. P., & Shkurovska, K. V. (2014). Ekstraktsiino-khromatohrafichne vyznachennia vmistu syntetychnykh barvnykiv u kharchovykh produktakh. *Voprosy khymyy y khymycheskoi tekhnolohyy*, 2, 45–49. Uziamo z <http://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/VHHT/2014/2/JRN/PDF/11.pdf> [in Ukrainian].
- Dumancas, G. G., Bello, G., Sevilleno, S., Subong, B. J. J., Koralege, R. H., Nuwan Perera, U D. ... Goudelock, A. (2018). Spectrophotometric Analysis of Food Colorants. *Reference Module in Food Science*. P. 1–12. DOI:10.1016/b978-0-08-100596-5.21457-1.
- Fekete, G., & Tsabouri, S. (2017, September). Common food colorants and allergic reactions in children: Myth or reality? *Food Chem* (Vol. 230, p. 578–588). DOI.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.043.
- Heidarizadi, E., & Tabaraki, R. (2016). Simultaneous spectrophotometric determination of synthetic dyes in food samples after cloud point extraction using multiple response optimizations. *Talanta* (Vol. 148, p. 237–246). DOI:10.1016/j.talanta.2015.10.075.
- Iammarino, M., Mentana, A., Centonze, D., Palermo, C., Mangiacotti, M. & Chiaravalle, A. E. (2019). Simultaneous determination of twelve dyes in meat products: Development and validation of an analytical method based on HPLC-UV-diode array detection. *Food Chemistry* (Vol. 285, p. 1–9). DOI:10.1016/j.foodchem.2019.01.133.
- Sadeghi, S., & Nasehi, Z. (2019). Simultaneous determination of Brilliant Green and Crystal Violet dyes in fish and water samples with dispersive liquid-liquid micro-extraction using ionic liquid followed by zero crossing first derivative spectrophotometric analysis method. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (Vol. 201, p. 134–142). DOI:10.1016/j.saa.2018.04.061.
- Shestopalova, N. B., Petrovich, M. V., & Chernova, R. K. (2016). Opredelenie sinteticheskikh pishchevykh krasitelei E102 i E110 pri sovmestnom prisutstvii. *Izvestiia Saratovskogo universiteta*. Novaia seriia. Seriiia Khimiiia. Biologiia. Ekologiia (T. 16 (3), s. 247–252) [in Russian].
- Silaev, D. V., Shestopalova, N. B., Fomina, Iu. A., & Rusanova, T. Iu. (2019). Opredelenie sinteticheskikh pishchevykh krasitelei E110 i E124 pri sovmestnom prisutstvii metodami Firordta i proizvodnoi spektrofotometrii. *Izvestiia Saratovskogo universiteta*. Novaia seriia. Seriiia Khimiiia. Biologiia. Ekologiia (T. 19 (3), s. 257–267). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-3-257-267> [in Russian].
- Smirnov, E. V. (2009). *Pishchevye krasiteli*. *Spravochnik*. SPb.: Professiia. 352 s. [in Russian].
- Sorouraddin, M.-H., Saadati, M., & Mirabi, F. (2015). Simultaneous determination of some common food dyes in commercial products by digital image analysis. *Journal of Food and Drug Analysis* (Vol. 23 (3), p. 447–452). DOI:10.1016/j.jfda.2014.10.007.
- Turak, F., Dinç, M., Dülger, Ö., & Özgür, M. U. (2014). Four Derivative Spectrophotometric Methods for the Simultaneous Determination of Carmoisine and Ponceau 4R in Drinks and Comparison with High Performance Liquid Chromatography. *International Journal of Analytical Chemistry* (Vol. 2014, p. 1–11). DOI:10.1155/2014/650465.
- Wieczorek, M., Rengevicova, S., Świt, P., Woźniakiewicz, A., Kozak, J., & Kościelniak, P. (2017). New approach

to H-point standard addition method for detection and elimination of unspecific interferences in samples with unknown matrix. *Talanta* (Vol. 170 (1), p. 165–172). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.03.101>.

### Список використаних джерел

- Andrade, De., Florindo, F. I., Guedes, M. I., Pinto Vieira, Í. G., Pereira Mendes, F. N., Salmito Rodrigues, P. A. ... de Matos Ribeiro, L. (2014). Determination of synthetic food dyes in commercial soft drinks by TLC and ion-pair HPLC. *Food Chemistry* (Vol. 157, p. 193–198). DOI:10.1016/j.foodchem.2014.01.100.
- Aurélié, P., Stefan Bieri, B., & Nicolas, M. (2019). SWATH-MS screening strategy for the determination of food dyes in spices by UHPLC-HRMS. *Food Chemistry* (Vol. 10 (1), p. 1–10). DOI:10.1016/j.fochx.2019.100009.
- Bişgin, A. T. (2019). Simultaneous Extraction and Determination of Allura Red (E129) and Brilliant Blue FCF (E133) in Foodstuffs by Column Solid-Phase Spectrophotometry. *Journal of AOAC International* (Vol. 102 (1), p. 181–188). DOI:10.5740/jaoacint.18-0073.
- Чмиленко, Ф. О., Мінаєва, Н. П., Сандомирський, О. В., & Сидорова, Л. П. (2008). Ідентифікація барвників в напоях методом вискоєфективної рідинної хроматографії. *Харчова промисловість*, 7, 17–19. Узято з [http://old1.nuft.edu.ua/pdf\\_doc/zhurnal/h\\_prom/7/7\\_6.pdf](http://old1.nuft.edu.ua/pdf_doc/zhurnal/h_prom/7/7_6.pdf).
- Чмиленко, Ф. О., Мінаєва, Ю. А., Сидорова, Л. П., & Шкуровська, К. В. (2014). Екстракційно-хроматографічне визначення вмісту синтетичних барвників у харчових продуктах. *Вопросы химии и химической технологии*, 2, 45–49. Узято з <http://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/VHNT/2014/2/JRN/PDF/11.pdf>.
- Dumancas, G. G., Bello, G., Sevileno, S., Subong, B. J. J., Koralege, R. H., Nuwan Perera, U. D. ... Goudelock, A. (2018). Spectrophotometric Analysis of Food Colorants. *Reference Module in Food Science*. P. 1–12. DOI:10.1016/b978-0-08-100596-5.21457-1.
- Fekete, G., & Tsabouri, S. (2017, September). Common food colorants and allergic reactions in children: Myth or reality? *Food Chem* (Vol. 230, p. 578–588). DOI.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.043.
- Heidarizadi, E., & Tabaraki, R. (2016). Simultaneous spectrophotometric determination of synthetic dyes in food samples after cloud point extraction using multiple response optimizations. *Talanta* (Vol. 148, p. 237–246). DOI:10.1016/j.talanta.2015.10.075.
- Iammario, M., Mentana, A., Centonze, D., Palermo, C., Mangiacotti, M., & Chiaravalle, A. E. (2019). Simultaneous determination of twelve dyes in meat products: Development and validation of an analytical method based on HPLC-UV-diode array detection. *Food Chemistry* (Vol. 285, p. 1–9). DOI:10.1016/j.foodchem.2019.01.133.
- Sadeghi, S., & Nasehi, Z. (2019). Simultaneous determination of Brilliant Green and Crystal Violet dyes in fish and water samples with dispersive liquid-liquid micro-extraction using ionic liquid followed by zero crossing first derivative spectrophotometric analysis method. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (Vol. 201, p. 134–142). DOI:10.1016/j.saa.2018.04.061.
- Шестопалова, Н. Б., Петрович, М. В., & Чернова, Р. К. (2016). Определение синтетических пищевых красителей E102 и E110 при совместном присутствии. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология* (Т. 16 (3), с. 247–252).
- Силаев, Д. В., Шестопалова, Н. Б., Фомина, Ю. А., & Русанова, Т. Ю. (2019). Определение синтетических пищевых красителей E110 и E124 при совместном присутствии методами Фирордта и производной спектрофотометрии. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология* (Т. 19 (3), с. 257–267). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-3-257-267>.
- Смирнов, Е. В. (2009). *Пищевые красители*. Справочник. СПб.: Профессия. 352 с.
- Sorouraddin, M.-H., Saadati, M., & Mirabi, F. (2015). Simultaneous determination of some common food dyes in commercial products by digital image analysis. *Journal of Food and Drug Analysis* (Vol. 23 (3), p. 447–452). DOI:10.1016/j.jfda.2014.10.007.
- Turak, F., Dinç, M., Dülger, Ö., & Özgür, M. U. (2014). Four Derivative Spectrophotometric Methods for the Simultaneous Determination of Carmoisine and Ponceau 4R in Drinks and Comparison with High Per-

formance Liquid Chromatography. *International Journal of Analytical Chemistry* (Vol. 2014, p. 1–11). DOI:10.1155/2014/650465.

Wieczorek, M., Rengevicova, S., Świt, P., Woźniakiewicz, A., Kozak, J., & Kościelniak, P. (2017). New approach to H-point standard addition method for detection and elimination of unspecific interferences in samples with unknown matrix. *Talanta* (Vol. 170 (1), p. 165–172). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.03.101>.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2020

**L. Sydorova**, *Ph.D in Chemical Sciences*,

*Associate Professor of the Analytical Chemistry Department,  
Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2916-3749>

**Yu. Bokhan**, *PhD in Chemical Sciences*,

*Associate Professor of Natural Sciences and Methods  
of their Training Department,*

*Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian  
State Pedagogical University, Dnipro, Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9612-7780>

**Zh. Kormosh**, *PhD in Chemical Sciences*,

*Professor of the Analytical Chemistry and Environmental  
Technologies Department,*

*Lesia Ukrainka Eastern European National University, Lutsk, Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6018-8787>

**P. Plonsak**, *Student*,

*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine*

**Yu. Pavlenko**, *Head of Materials*,

*Substances and Products Research Department,  
Kirovograd Scientific Research Forensic Center,*

*MIA of Ukraine, Kropyvnytskyi, Ukraine*

## SIMULTANEOUS DETERMINATION OF THE CONTENT OF SYNTHETIC DYES E110 AND E124 IN THE MIXTURE

*The purpose* of the article is to find out the possibility of using the method of zero cross section spectrophotometry of first derivatives to simultaneously determine the content of synthetic dyes E110 and E124 in the mixture without prior separation and develop a highly sensitive method of their control in soft drinks. **Methodology.** A set of general scientific and special methods was used to achieve this goal. In particular, theoretical materials on the research problem were systematized, while using theoretical methods (analysis and generalization, synthesis, comparison, modeling). The authors also used empirical method (diagnostic, methods of observation, self-observation) to determine the state of practical elaboration of the problem; and organizational-experimental methods (diagnostic, ascertaining, search, forming, corrective experiments) with qualitative analysis and mathematical statistical processing to prove the effectiveness of the proposed method. The reliability of the obtained results is ensured by the use of modern physicochemical, chemical, mathematical, statistical methods of analysis, as well as adequate processing of the obtained experimental data. Their accuracy is proved by comparison with the results of independent methods. **Scientific novelty.** The method of zero cross section spectrophotometry of first derivatives was introduced for unambiguous determination of E110 and E124 in model mixtures and in real objects of forensic examination (soft drinks). The developed technique was tested on the model

mixtures and used to determine the content of dyes in soft drinks. Quantitative content of E110 and E124 dyes in non-alcoholic carbonated drinks «Mirinda», «Orange» and «Juicy Cherry» was determined. It was proved that the correctness of the determination depends on the concentration of each component and their ratios. It was also proved that the error of determination does not exceed 7 %, and the matrix of the object of analysis does not significantly affect the obtained results. **Conclusions.** Taking into account the availability of equipment, simplicity, expressiveness, seriation and workability of the proposed method for determining the content of individual dyes in the mixture without prior separation, the use of derivative spectrophotometry zero cross section of the first derivatives is an effective method of expert control of the content of synthetic dyes in soft drinks, syrups, etc.

**Keywords:** synthetic dyes; E110 (Yellow «Sunset»); E124 (Ponceau 4R, Bright Red 4R); zero-derivative spectrophotometry method; zero cross section of the first derivatives; soft drinks.

**Л. П. Сидорова**, кандидат химических наук,

доцент кафедры аналитической химии,

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара, г. Днепр

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2916-3749>

**Ю. В. Бохан**, кандидат химических наук,

доцент кафедры естественных наук и методик их обучения,

Центральноукраинский государственный

педагогический университет им. В. Винниченка, г. Днепр

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9612-7780>

**Ж. О. Кормош**, кандидат химических наук,

профессор кафедры аналитической химии и экотехнологий,

Восточноевропейский национальный университет

им. Леси Украинки, г. Луцк

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6018-8787>

**П. П. Плёнсак**, студентка,

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара, г. Днепр

**Ю. Л. Павленко**, заведующий отделом исследований

материалов, веществ и изделий,

Кировоградский научно-исследовательский

экспертно-криминалистический центр МВД Украины, г. Кропивницкий

## ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ E110 И E124 В СМЕСИ

**Цель** статьи – выявить возможность использования метода производной спектрофотометрии нулевого пересечения первых производных для одновременного определения содержания синтетических красителей E110 и E124 в смеси без предварительного разделения и разработка высокочувствительной методики их контроля в безалкогольных напитках. **Методология.** Для реализации поставленной цели использован комплекс общенаучных и специальных методов. В частности, применяя теоретические методы (анализ и обобщение, синтез, сравнение, моделирование) систематизированы теоретические материалы по проблеме исследования; эмпирически (диагностические, методы наблюдения, самонаблюдения) определено состояние практической проработанности проблемы; организационно-экспериментальными (диагностический, констатирующий, поисковый, формирующий, корректирующий эксперименты) с качественным анализом и математической статистической обработкой доказана эффективность предложенной методики. Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современных физико-химических, химических, математических, статистических методов анализа, а также адекватной обработкой полученных экспериментальных данных. Их правильность подтверждена сравнением с ре-

зультатами независимых методов. **Научная новизна.** Впервые предложено использование метода производной спектрофотометрии нулевого пересечения первых производных для однозначного определения E110 и E124 в модельных смесях и в реальных объектах экспертно-криминалистической экспертизы – безалкогольных напитках. Разработанная методика проверена на модельных смесях и применена для определения содержания красителей в безалкогольных напитках. Определено количественное содержание красителей E110 и E124 в безалкогольных газированных напитках «Mirinda», «Апельсин» и «Сочная вишня». Констатировано, что правильность определения зависит от концентрации каждого компонента и их соотношений. Доказано, что погрешность определения не превышает 7 %, а матрица объекта анализа существенно не влияет на полученные результаты. **Выводы.** Учитывая доступность оборудования, простоту, экспрессность, серийность, технологичность предложенной методики определения содержания индивидуальных красителей в смеси без предварительного их разделения, применение метода производной спектрофотометрии при нулевом пересечении первых производных является эффективным методом экспертного контроля содержания синтетических красителей в безалкогольных напитках, сиропах и т. п.

**Ключевые слова:** синтетические красители; E110 (Желтый «Солнечный закат»); E124 (Понсо 4R, Пунцовый 4R); метод производной спектрофотометрии нулевого пересечения; нулевое пересечение первых производных; безалкогольные газированные напитки.