

УДК 004.67

DOI: <https://doi.org/10.17721/3041-2323.2024.347-354>

Ігор СУРОВЦЕВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.  
ORCID ID: 0000-0003-1133-6207  
e-mail: dep115@irtc.org.ua

Володимир СТЕПАШКО<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.  
ORCID ID: 0000-0002-1367-6056  
e-mail: dep195@irtc.org.ua

Сергій ЄФІМЕНКО<sup>1</sup>, канд. техн. наук  
ORCID ID: 0000-0003-4179-6909  
e-mail: dep195@irtc.org.ua

Євгенія САВЧЕНКО-СИНЯКОВА<sup>1</sup>, ст. наук. співроб.  
ORCID ID: 0000-0003-4851-9664  
e-mail: savchenko\_e@meta.ua

Олександра МОРОЗ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, ст. наук. співроб.  
ORCID ID: 0000-0003-4314-4939  
e-mail: dep195@irtc.org.ua

Валентина ГАЛІМОВА<sup>2</sup>, канд. хім. наук  
ORCID ID: 0000-0001-9602-1006  
e-mail: galimova2201@gmail.com

<sup>1</sup>Інститут інформаційних технологій і систем НАН України,  
Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів  
і природокористування України, Київ, Україна

## **ЗАДАЧА РОЗРОБЛЕННЯ ПРИКЛАДНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ТОКСИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ**

*Розроблено проєкт прикладної інформаційної технології для розв'язання проблеми визначення концентрації токсичних елементів у питній воді та водоймах. Ця технологія дає змогу визначати вміст свинцю, міді, кадмію та цинку у воді з досить високою точністю. Зазначена технологія становитиме основу портативного пристрою для визначення концентрації токсичних елементів у воді.*

© Суровцев Ігор, Степашко Володимир, Єфіменко Сергій,  
Савченко-Синякова Євгенія, Мороз Олександра,  
Галімова Валентина, 2024

**Ключові слова:** *інформаційні технології, концентрація токсичних елементів, інтенсивність сигналу, методи зворотної хронопотенціометрії.*

### **Вступ**

Чистота навколишнього середовища, а особливо питної води нині стає однією з головних проблем сучасності. Для контролю показників води важливо проводити їхній моніторинг, щоб визначити перевищення допустимих концентрацій важких металів у воді.

В останні роки велику увагу у світі приділяють застосуванню методів інверсійної хронопотенціометрії у практичних екологічних задачах. В огляді наведено перспективи розвитку електрохімічних методів дослідження. В роботі (Смик, 2020) зазначено високу чутливість і вибірковість проведення аналізів у галузі. У дослідженні (Пехньо, Омельчук, & Лінючева, 2022) підкреслено важливість застосування електрохімічних та оптичних сенсорів у електрохімічних дослідженнях. Багато фірм почали випускати портативні аналізатори вимірювання токсичних елементів у воді: вольтамперометричний аналізатор 946 Portable VA Analyzer (Швейцарія) багатифункціональний портативний аналізатор важких металів DW-HM-5000 (Об'єднані Арабські Емірати), портативний аналізатор важких металів для контролю якості води навколишнього середовища TPS-HM5000P (Китай) (Shanghai Toposun Industries Co., Ltd., n. d.) та ін. Але попри велику увагу до визначення ступеня забруднення води, сьогодні не розроблено зручних і недорогих приладів для українських користувачів, які з достатньою точністю дозволяли б визначати наявність у питній воді токсичних елементів.

*Метою дослідження* є розроблення проєкту інформаційної технології визначення концентрації токсичних елементів у водних об'єктах навколишнього середовища методами ІХП для створення спеціалізованого автономного програмно-апаратного комплексу.

*Задача розроблення переносних засобів визначення токсичних елементів у воді.* В Україні вперше розв'язано завдання розроблення стаціонарних лабораторних приладів вимірювання концентрацій важких металів для визначення якості питної води, продуктів харчування й об'єктів довкілля методами інверсної хро-

нопотенціометрії (Surovtsev, Galimov, & Tatarinov, 2018). Але сучасні вимоги потребують зручного у використанні переносного приладу для вимірювання концентрації важких металів у воді, доступного за ціною для українського користувача.

Тому, з огляду на досвід розроблення таких приладів, поставлено задачу розробити новий переносний прилад для визначення концентрацій токсичних елементів у воді. Розробці інформаційної технології та методів, на основі яких вона буде побудована, присвячена ця робота.

**Методи розв'язання задачі визначення концентрацій.** В основу інформаційної технології, що розробляється, покладено метод ІХП (Surovtsev, Galimov, & Tatarinov, 2018). Принцип роботи методів ІХП полягає в електрохімічному концентруванні на індикаторному електроді іонів хімічних елементів із розчину проби та подальшому вимірюванні у часі потенціалів зворотного електролітичного виходу іонів у розчин у вигляді сигналу  $e(t)$ . Аналітичною характеристикою методу є час інверсії елемента, який за стандартизованих умов концентрування й інверсії прямо пропорційний концентрації іонів у розчині.

Вимірюваний монотонно зростаючий сигнал  $e(t)$  за методом ІХП є інтегральною сумою вимірювань інверсій окремих хімічних елементів. Процес інверсії кожного елемента виконують послідовно у власному діапазоні потенціалів відповідно до збільшення значення стандартного електродного потенціалу в ряді активності металів. Найбільш ефективним підходом до аналізу таких даних є застосування диференційного сигналу або сигналу інтенсивності вимірювань у координатах  $(e, dt/de)$ , що дозволяє розглядати інтегральний аналітичний сигнал у вигляді суми компонентів, які відповідають інверсії окремих хімічних елементів.

Застосовано таку послідовність методів (Суровцев, Галімова, & Бабак, 2006; Суровцев, 2015) :

- зміни системи координат сигналу інверсії;
- побудови сигналу інтенсивності – диференційного перетвореного сигналу інверсії;
- моделювання базової лінії фонового розряду електродів;
- формування спектра компонентів інверсії елементів;

- моделювання сигналів компонентів;
- визначення часу інверсії для розрахунку концентрацій способом добавки стандартних зразків іонів.

**Розроблення інформаційної технології визначення концентрацій токсичних елементів у воді.** Технологія, що розробляється, має реалізувати процес швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів в об'єктах довкілля. Вона містить такі основні компоненти, реалізовані в алгоритмах і програмних засобах на платформі ноутбука:

- математична модель багатокомпонентного аналітичного сигналу електрохімічного вимірювання концентрацій хімічних елементів на основі застосування методів індуктивного моделювання;
- математична модель визначення маси добавки та метод порівняння сигналів на основі застосування технології суміщення еталонних сигналів, наявних у базі даних, з поточними аналітичними сигналами вимірювання для швидкого визначення концентрацій токсичних елементів у польових умовах;
- комплекс програмних засобів інформаційної технології швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів, визначення показників безпечності та якості питної води.

**Вимоги до програмно-апаратного комплексу.** Прилад, який буде розроблено, має складатися з апаратних компонентів і програмних засобів, що реалізують комплексний процес вимірювання концентрацій хімічних елементів у об'єктах довкілля електрохімічними методами ІХП.

Апаратні компоненти програмно-апаратного комплексу мають таке призначення:

- ноутбук із завантаженими програмними засобами інформаційної технології, базою даних еталонів електрохімічних параметрів визначення концентрацій для різних хімічних елементів, сенсорів, імпульсних методів ІХП та режимів вимірювання, базою даних значень гранично допустимих концентрацій токсичних елементів в об'єктах довкілля;
- блок вимірювання концентрацій з автономним електроживленням реалізує у реальному часі взаємодію з ноутбуком через інтерфейс Wi-Fi, подає та зчитує потенціали з вимірювального

сенсора із частотою 4 КГц і дискретністю 0,1 мВ, вмикає та вимикає магнітну мішалку;

- магнітна мішалка з автономним електроживленням та інтерфейсом Wi-Fi, перемішує пробу води в режимі регенерації та концентрування, вмикається в режимі інверсії під час реєстрування потенціалів аналітичного сигналу;

- вимірювальні сенсори з благородних металів (золото, платина, срібло з амальгамою ртуті) забезпечують високочутливе вимірювання концентрацій різних елементів, хлоросрібний електрод порівняння забезпечує процес електрохімічного дослідження.

#### **Дискусія і висновки**

Описано задачу побудови інформаційної технології визначення концентрацій токсичних елементів у воді. За результатами дослідження цю інформаційну технологію буде реалізовано в переносному пристрої для вимірювання токсичних елементів у воді в польових умовах. Використання зазначеної інформаційної технології буде корисним і для фахівців у галузі екології, і в повсякденному житті для самостійного вимірювання ступеня забрудненості води важкими металами.

**Джерела фінансування.** Дослідження проведено за грантової підтримки Національного фонду досліджень України в межах реалізації проєкту "Переносний програмно-апаратний комплекс швидкого визначення токсичних речовин у водних об'єктах, забруднених внаслідок воєнних дій" (реєстраційний номер 2023.04/0128) в межах конкурсу "Наука для зміцнення обороноздатності України".

#### **Список використаних джерел**

Пехньо, В. І., Омельчук, А. О., & Лінючева, О. В. (2022). Київська наукова електрохімічна школа. *Український хімічний журнал*, 88(6), 71–101.

Смик, Н. І. (2020). *Сучасні електрохімічні методи аналізу. Основні поняття електрохімії. Електропровідність розчину. Методи, не пов'язані з протіканням фарадеевського струму*. Київ. <https://anchem.knu.ua/en/publication-author/smik-ni>

Суворцев, И. В. (2015). Преобразование структуры данных при определении концентрации методом инверсионной хронопотенциометрии. *Кибернетика и вычисл. техника*, 180, 4–14.

946 Portable VA Analyzer (SPE). <https://www.metrohm.com/en/products/2/9460/29460020.html> (Дата звернення: 27.09.2024).

Shanghai Toposun Industries Co., Ltd. <https://www.globalsources.com/shanghai-toposun> (дата звернення: 27.09.2024).

Surovtsev, I. V., Galimov, S. K., Tatarinov, O. E. (2018). Information technology for determining the concentration of toxic elements in environmental objects. *Kibern. vychisl. teh.*, 1(191), 5–31.

Surovtsev, I. V., & Sieriebriakov, A. K. (2023). Method of elements identification in the multicomponent signal. *Control Systems and Computers*, 2, 19–26. <https://doi.org/10.15407/csc.2023.02.019>

#### References

Pekhno, V. I., Omelchuk, A. O., & Linyucheva, O. V. (2022). Kyiv scientific electrochemical school. *Ukrainian Chemical Journal*, 88(6), 71–101 [in Ukrainian].

946 Portable VA Analyzer (SPE). (n. d.). Retrieved September 27, 2024, from <https://www.metrohm.com/en/products/2/9460/29460020.html>

Smyk, N. I. (2020). *Modern electrochemical analysis methods. Basic concepts of electrochemistry: Educational and methodological manual for students of the Faculty of Chemistry*. Kyiv [in Ukrainian]. <https://anchem.knu.ua/en/publication-author/smik-ni>

Shanghai Toposun Industries Co., Ltd. (n. d.). Retrieved September 27, 2024, from <https://www.globalsources.com/shanghai-toposun>

Surovtsev, I. V. (2015). Data structure transformation in determining concentration using inversion chronopotentiometry. *Cybernetics and Computational Technology*, 180, 4–14 [in Russian].

Surovtsev, I. V., Galimov, S. K., Tatarinov, O. E. (2018). Information technology for determining the concentration of toxic elements in environmental objects. *Kibern. vychisl. teh.*, 1(191), 5–31.

Surovtsev, I. V., & Sieriebriakov, A. K. (2023). Method of elements identification in the multicomponent signal. *Control Systems and Computers*, 2, 19–26. <https://doi.org/10.15407/csc.2023.02.019>

**Отримано редакцією журналу / Received: 28.09.24**

**Прорецензовано / Revised: 30.09.24**

**Схвалено до друку / Accepted: 01.10.24**

Ihor SUROVTSEV<sup>1</sup>, DSc (Engin.), Prof.  
ORCID ID: 0000-0003-1133-6207  
e-mail: dep115@irtc.org.ua

Volodymyr STEPASHKO<sup>1</sup>, DSc (Engin.), Prof.  
ORCID ID: 0000-0002-1367-6056  
e-mail: dep195@irtc.org.ua

Serhii YEFIMENKO<sup>1</sup>, PhD (Engin.)  
ORCID ID: 0000-0003-4179-6909  
e-mail: dep195@irtc.org.ua

Yevheniia SAVCHENKO-SYNIAKOVA<sup>1</sup>, Senior Researcher  
ORCID ID: 0000-0003-4851-9664  
e-mail: savchenko\_e@meta.ua

Oleksandra MOROZ<sup>1</sup>, PhD (Engin.), Senior Researcher  
ORCID ID: 0000-0003-4314-4939  
e-mail: dep195@irtc.org.ua

Valentyna HALIMOVA<sup>2</sup>, PhD (Chem.), Assoc. Prof.  
ORCID ID: 0000-0001-9602-1006  
e-mail: galimova2201@gmail.com

<sup>1</sup>Institute of Information Technologies and Systems of the National  
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

### **THE TASK OF DEVELOPING AN APPLIED INFORMATION TECHNOLOGY FOR DETERMINING THE CONCENTRATIONS OF TOXIC ELEMENTS IN WATER OBJECTS**

*A project of applied information technology has been developed to solve the problem of determining the concentration of toxic elements in drinking water and reservoirs. This technology allows determining the content of lead, copper, cadmium, and zinc in water with fairly high accuracy. This technology will form the basis of a portable device for determining the concentration of toxic elements in water.*

**Keywords:** *information technology, concentration of toxic elements, intensity signal, methods of inverse chronopotentiometry.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.