
DIGITAL COMPUTER SYSTEMS

ЦИФРОВІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.04.028>
UDC 004.8 + 004.032.26

І.В. СУРОВЦЕВ, д-р. техн. наук, старш. наук. співроб.,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1133-6207>
igorsur52@gmail.com

В.М. ГАЛІМОВА, канд. хім. наук, доцент, доцент,
каф. аналітичної і біонеорганічної хімії та якості води,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 17, корп. 2, Київ, 03041, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9602-1006>
galimova2201@gmail.com

В.С. ЛЯХОВ, аспірант,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0009-0004-5332-1104>
vlyahov@gmail.com

А.К. ХАНЕВИЧ, пров. інженер
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,
<https://orcid.org/0009-0009-3294-662X>
andrii.khanevych@gmail.com

Я.М. АНТОНЮК, старш. наук. співроб.,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0009-0005-7680-5950>
ant@noc.irtc.org.ua

ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ З ЕКОЛОГІЧНИМИ ДАНИМИ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ДОВКІЛЛЯ НА ОСНОВІ МЕРЕЖЕВИХ ТА ХМАРНИХ РІШЕНЬ

Під час оперативного екологічного моніторингу водних об'єктів довкілля важливо застосовувати сучасні переносні технічні системи швидкого визначення вмісту хімічних речовин у воді, які забезпечують ефективну організацію робіт з даними

Цитування: Суровцев І.В., Галімова В.М., Ляхов В.С., Ханевич А.К., Антонюк Я.М. Організація роботи з екологічними даними моніторингу водних об'єктів довкілля на основі мережеских та хмарних рішень. *Information Technologies and Systems*. 4 (4). 2025. 28–44. <https://doi.org/10.15407/intchsys.2025.04.028>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2025. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

вимірювань – збирання, передавання, зберігання, оброблення та їх аналіз. Метою роботи є розробити мережеві та хмарні рішення для довготривалого збереження, оброблення та аналізу екологічних даних моніторингу водних об'єктів довкілля, отриманих у польових умовах із застосуванням портативної технічної системи швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів. Застосування такої портативної системи швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів забезпечить ефективний екологічний моніторинг водних об'єктів довкілля. Розроблена технологія обміну даними дала змогу значно спростити програмну реалізацію локального застосування системи та забезпечити якісне зберігання отриманих екологічних даних у хмарному сервері шляхом передачі даних через інтернет.

Ключові слова: інформаційна технологія, портативна система, концентрація хімічних елементів, інверсійна хронопотенціометрія, екологічний моніторинг, оброблення даних, мережеві рішення, хмарні технології.

Вступ

Різке погіршення екологічного стану водних ресурсів України внаслідок бойових дій та бомбардувань потребує постійного моніторингу водних об'єктів у навколишньому середовищі для визначення якості та безпеки споживання питної води, контролю забруднення поверхневих та підземних вод важкими металами.

Екологічний моніторинг водних об'єктів в Україні виконує Державна система моніторингу довкілля, яка збирає, обробляє, передає, зберігає та аналізує інформацію про стан довкілля. Система моніторингу є складовою частиною національної інформаційної інфраструктури, сумісної з аналогічними системами інших країн. У Положенні до цієї системи вказано, що функції контролю якості водних об'єктах здійснюють державні установи Держводагентство, Мінрегіон та Держгеонадра [1]. До складу виконавців програм екологічного моніторингу можуть залучатися підприємства, установи та організації незалежно від їх підпорядкування і форм власності.

Методологічне забезпечення об'єднання складових частин і компонентів системи моніторингу покладається на Міндовкілля із залученням Національної академії наук, Національної академії аграрних наук, Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України тощо. Методологічне забезпечення складових частин і компонентів системи моніторингу здійснюється на основі впровадження уніфікованих методів аналізу, комп'ютеризації процесів діяльності та інформаційної комунікації, застосування загальних правил створення і ведення розподілених баз та банків даних екологічної інформації про стан довкілля [1].

Токсикологічні параметри якості та безпеки води, а саме концентрації важких металів та хімічних елементів [2], визначають за допомоги різноманітних сенсорів (біосенсорів) різними методами дослідження, серед яких найбільш чутливими та поширеними є електрохімічні методи вольтамперометрії та хронопотенціометрії. Моніторинг водних об'єктів здійснюють на постійних постах екологічних спосте-

режень, в установах централізованого водопостачання та підприємствах з випуску фасованої та бутильованої води.

Наразі значну увагу приділяють розробленню переносних технічних систем для дослідження води в польових умовах на місці. Системи швидкого вимірювання концентрацій токсичних хімічних елементів у польових умовах повинні бути портативними, з надійними аналітичними властивостями моніторингу води в режимі реального часу та відповідати сучасним вимогам мережевих і хмарних рішень для організації та збереження екологічних даних.

Створення інтелектуальних інформаційних технологій та технічних систем екологічного моніторингу є ключовим елементом забезпечення якості та безпеки водопостачання населенню та військовим формуванням у зоні бойових дій під час визначення рівня токсичного забруднення води.

Метою цього дослідження є розроблення мережевих та хмарних рішень для довготривалого збереження екологічних даних моніторингу водних об'єктів довкілля, отриманих у польових умовах портативною технічною системою швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів.

У статті наведено огляд відомих переносних систем вимірювання вмісту хімічних елементів у воді та технічних систем екологічного моніторингу з використанням хмарних рішень, подано розроблений авторами переносний програмно-апаратний комплекс швидкого визначення хімічних речовин у водних об'єктах та наведено особливості застосування локальної бази даних і хмарного сервера для збереження екологічних даних.

Наявні системи швидкого визначення вмісту хімічних елементів у воді

Наразі в галузі екологічного моніторингу водних об'єктів активно проводять дослідження з розробки портативних технічних систем для швидкого визначення концентрацій токсичних елементів на місці.

В Індії запропоновано систему AWQMS на основі *IoT* (інтернету речей), яка використовує різноманітні датчики та апаратні компоненти для швидкого вимірювання параметрів води з передаванням даних у хмарну інфраструктуру в реальному часі [3]. Розроблено румунський проєкт *PIMEO AI* моніторингу якості води у різних екосистемах з новим підходом до моделювання та збереження даних у хмарних серверах [4]. Так, для оцінки якості водних систем у регіоні річки Амазонки було розроблено та впроваджено метод швидкого та ефективного одночасного електрохімічного виявлення іонів важких металів (Pb^{2+} , Cu^{2+} тощо) у воді за допомогою зонда з трафаретно-друкованим електродом (ТФЕ) [5]. Інший розроблений датчик на основі ТФЕ уможливив локальне швидке *in situ* (на місці) виявлення кон-

центрацій фосфатів [6]. Такі технології виготовлення трафаретно-друкованих датчиків в Україні не є широко поширеними, що не дає змоги застосовувати їх у системах моніторингу.

Найближчим до напрямів досліджень авторів цієї роботи є застосування методів інверсійної хронопотенціометрії (ІХП, SCP) для визначення концентрацій $Pb(II)$ та $Cd(II)$ з використанням трафаретно-друкованих та вуглецево-пастових електродів, модифікованих тонкими плівками ртуті [7]. Тверді срібні електроди з ртутною амальгамою використовують в Україні протягом багатьох років у серійних аналізаторах важких металів «М-ХА1000-5» та «Аналізатор SCP» для визначення концентрацій Pb , Cd , Cu , Zn , Hg , As та інших токсичних елементів цими методами. Недоліком цих приладів є їх використання у стаціонарних лабораторних умовах.

Хороші результати для швидкого виявлення іонів ртуті на місці в реальних зразках води було отримано за допомоги оптофлюїдного біосенсора [8] та датчика розсіювання з поверхневим посиленням для виявлення ртуті на високоінтегрованій мікрофлюїдній платформі [9]. Також було запропоновано бездротовий мікрофлюїдний датчик на основі технології низькотемпературної кераміки (LTCC) для виявлення іонів металів у воді в реальному часі [10], що є перспективним для швидкого та зручного виявлення забруднювачів іонами важких металів у промислових стічних водах. Однак це експериментальні датчики, які ще не застосовувалися в практичних системах моніторингу.

Вольтамперометричний аналізатор *946 Portable VA Analyzer* [11], розроблений відомою європейською компанією *Metrohm* (Швейцарія), застосовує власний вимірювальний датчик, який комерційно недоступний для використання. Через значну вартість приладу та методів вимірювання хімічних елементів цей аналізатор практично недоступний для моніторингу довкілля в Україні.

Далі коротко описано розроблений авторами переносний комплекс швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів у воді.

Переносна система швидкого визначення концентрацій хімічних елементів у польових умовах

Розроблено переносний програмно-апаратний комплекс (систему) швидкого визначення у польових умовах концентрацій хімічних елементів свинцю, кадмію, міді, цинку, фосфору у водних об'єктах, забруднених внаслідок воєнних дій. Система складається з ноутбука та переносного блока вимірювання концентрацій електрохімічними методами інверсійної хронопотенціометрії (ІХП), з автономним електроживленням, інтерфейсом зв'язку *Wi-Fi* та вбудованою магнітною мішалкою. На рис. 1 показано зовнішній вигляд експериментального зразка портативної системи екологічного моніторингу води.

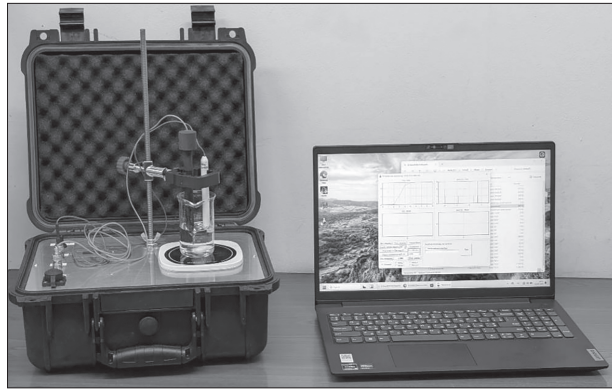


Рис. 1. Зовнішній вигляд переносної системи швидкого визначення хімічних речовин

Принцип дії методів ІХП, застосованих для визначення концентрацій хімічних елементів у блоці вимірювання, базується на електрохімічному концентруванні іонів хімічних елементів з розчину проби на індикаторному електроді та подальшому вимірюванні потенціалів під час зворотного (інверсійного) електролітичного розчинення іонів. Аналітичною характеристикою методів є час інверсії елемента, який за стандартизованих умов концентрування та інверсії прямо пропорційний концентрації іонів у розчині, якісними характеристиками є також потенціали піку та діапазони зміни потенціалів інверсії елементів [12]. Методи ІХП продемонстрували значну перевагу над вольтамперометричними методами аналізу з точки зору точності, чутливості та повторюваності отриманих значень концентрації.

Інформаційна технологія, реалізована у системі, дає змогу значно прискорити процес визначення концентрацій завдяки відсутності підготовки проб води, застосуванню розроблених математичних моделей та методу порівняння вимірювальних та еталонних сигналів. Використання математичного моделювання даних вимірювань дає змогу ефективніше обробляти слабкі аналітичні сигнали під час визначення слідових концентрацій токсичних елементів у різних об'єктах навколишнього середовища [13].

Запропонована портативна система швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів у воді, на відміну від наявних подібних рішень, може бути універсальним засобом екологічного моніторингу, здатним швидко визначати забрудненість водних об'єктів токсичними елементами у польових умовах, а також використовуватись у лабораторних умовах як аналітична система, виконуючи розширені дослідження з визначення екологічного стану об'єктів довкілля. Аналітична система дає змогу в лабораторних умовах визначати методами ІХП концентрації 15 хімічних елементів у воді: свинцю, міді, цинку, кадмію, ртуті, миш'яку, нікелю, кобальту, марганю, хрому, заліза, олова, йоду, селену, фосфору з чутливістю до $0,05 \text{ мкг/дм}^3$.

Комплексні підходи з використання хмарних технологій для екологічного моніторингу

Поряд з окремими технічними пристроями для екологічного моніторингу водних та інших природних об'єктів у світі активно запроваджуються комплексні рішення, які містять у собі як пристрої IoT для моніторингу так і програмно-аналітичні комплекси оброблення екологічних даних. Розглянемо деякі системи екологічного моніторингу, в яких застосовуються такі комплексні підходи.

Сенсорна платформа SmartWater. В [14] описано розроблену сервісорієнтовану та хмароорієнтовану платформу SmartWater (Розумна Вода) для інтелектуального моніторингу водного середовища, яка поєднує передові інформаційні технології в галузі хмарних сенсорних систем, глибокого навчання, мислення на основі знань, а також оброблення та аналітики екологічних даних. На рис. 2 наведено пошарову структуру сенсорної платформи SmartWater.

Система складається з чотирьох рівнів (шарів): шар інтелектуальних датчиків, шар управління даними, шар робочих процесів та шар аналітики водних ресурсів.

- Рівень інтелектуальних датчиків (*Smart Sensor, collaborative decision*): базується на архітектурі хмарних сенсорних систем, яка перетворює

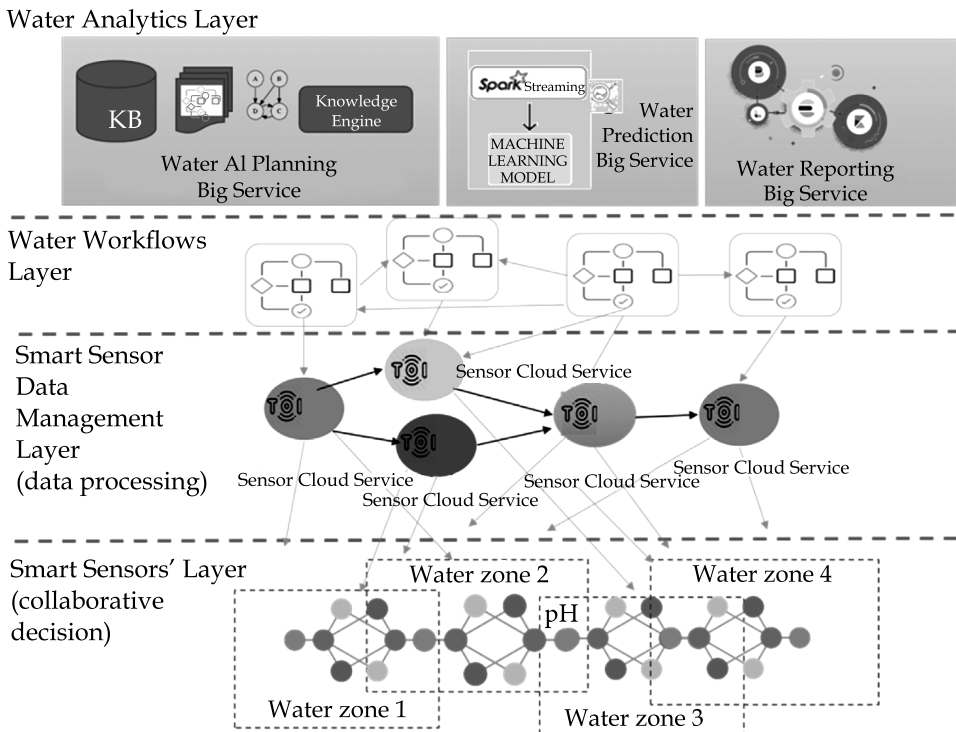


Рис. 2. Структура сенсорної платформи SmartWater

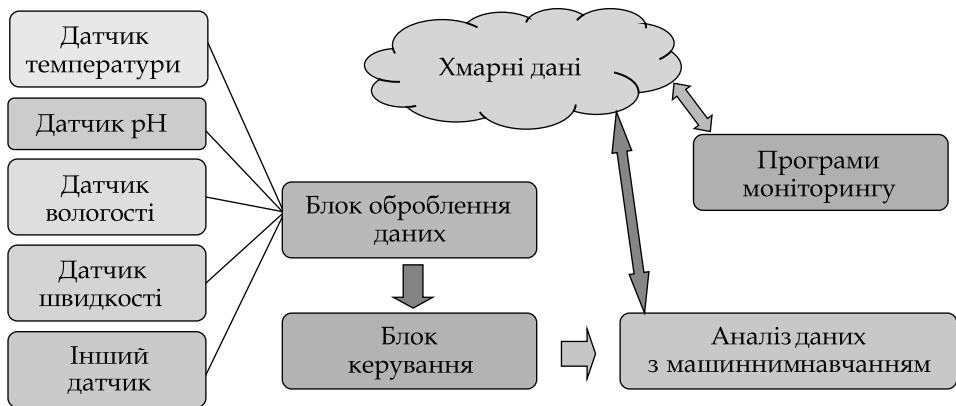


Рис. 3. Структура системи моніторингу якості води в аквакультури

водне середовище на набір інтелектуальних та контрольованих водних зон.

- Рівень управління даними (*Data Management Layer data processing*): охоплює засоби оброблення та управління даними, які дають змогу здійснювати різні операції з даними про воду, які раніше були зібрані з датчиків.

- Рівень робочих процесів у сфері водних ресурсів (*water Workflows Layer*): служить хмарним сховищем абстрактних планів керування водними ресурсами.

- Рівень водної аналітики (*water Analytics Layer*): на вищому рівні системи спостереження за водою набір попередньо визначених шаблонів робочих процесів у хмарі, підтримка рішень, звітність та рекомендації щодо стану водних зон.

Система моніторингу якості води в аквакультури. В [15] розроблено систему моніторингу якості води в аквакультури в режимі реального часу за допомоги IoT-датчиків та хмарної аналітики, з більш спрощеною архітектурою (рис. 3), що дає можливість легко адаптувати її до схожих задач.

Структура системи моніторингу якості води складається з компонентів:

- IoT пристрої, які здійснюють моніторинг у реальному часі. Пристрої розраховані на аналіз низки показників;

- блок оброблення даних, куди надходять всі показники;
- блок контролю даних, де здійснюється контроль та валідація сигналів, а також побудова математичних моделей;

- система оброблення моделей та навчання, саме тут дані сигналів перетворюються на показники та завдяки навчанню підвищується точність дослідження;

- хмарне сховище даних, у якому зберігаються всі екологічні дані.

Наведені системи моніторингу якості води можуть слугувати зразками реальних підходів до створення Державної системи еколо-

гічного моніторингу водних об'єктів довкілля. Важливим є також розроблення структури корпоративної системи моніторингу для окремого підприємства або конкретної аналітичної лабораторії якості води, особливо в умовах застосування переносних технічних приладів швидкого вимірювання вмісту хімічних елементів у воді з використанням хмарних рішень для збереження екологічних даних.

Далі розглянемо наш підхід до організації даних екологічних вимірювань на основі мережевих та хмарних рішень.

Вимоги до організації мережевих та хмарних даних

Розроблена портативна система швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів у воді в польових умовах у непередбачуваних місцях (технічна система) за відсутності зв'язку та електропостачання повинна забезпечувати автономну роботу з можливістю збереження експериментальних даних у локальній базі даних технічної системи та в зовнішній базі даних сервера з використанням мережевих та хмарних рішень для організації даних.

Впровадження такої технічної системи має перш за все відповідати загальним стандартам захисту інформації, зокрема стандартам інформаційної безпеки, шифрування та автентифікації, протоколам захисту мережевого трафіку, автентифікації та контролю доступу, захисту хмарних та мережевих рішень, національним та регіональним стандартам тощо.

Для безпеки програмних та апаратних систем необхідно дотримуватися міжнародних стандартів, використовувати сучасні криптографічні методи та контролювати доступ до систем. Інтеграція стандартів інформаційної безпеки (*ISO 27001, NIST, IEC 62443*) дає змогу захистити інформацію в мережі та хмарі, мінімізуючи ризики кібератак.

Фізичний захист технічної системи для польових вимірювань концентрацій токсичних елементів охоплює заходи щодо запобігання несанкціонованому доступу, пошкодженню обладнання, захисту від природних та техногенних факторів. Основні стандарти та нормативні акти визначають вимоги до безпечної інфраструктури та контролю фізичного доступу, включно з: стандартами фізичного захисту, захистом від фізичних загроз, заходами фізичної безпеки, національними правилами фізичного захисту.

Фізична безпека технічної системи для швидких вимірювань на місці та аналітичних вимірювань у лабораторних умовах є критично важливою для захисту даних. Впровадження міжнародних стандартів (*ISO 27001, IEC 62443, ANSI/BICSI 002*), а також місцевих норм дає змогу мінімізувати ризики фізичних загроз, покращити безпеку об'єктів та забезпечити безперервність роботи систем.

Впровадження технічної системи швидкого вимірювання концентрацій

Портативна система швидкого екологічного моніторингу водних об'єктів довкілля складається з ноутбука та переносного блока вимірювання концентрацій електрохімічними методами хронопотенціометрії. У ноутбуці розміщені програмні засоби інформаційної технології вимірювання концентрацій хімічних елементів та локальна база даних (БД) результатів екологічного моніторингу. Переносний блок вимірювання концентрацій з автономним електроживленням реалізує у реальному часі взаємодію з ноутбуком через індивідуальний інтерфейс *Wi-Fi*, подає та зчитує потенціали з електродів, розміщених на штативі, вмикає та вимикає магнітну мішалку, на якій розміщено хімічну склянку з пробою води. Літій-іонні акумулятори дають змогу вимірювати концентрації в польових умовах протягом робочого дня, крім того у комплект системи може входити портативна зарядна станція, яка дає змогу значно продовжити автономну роботу портативної системи.

До портативної технічної системи швидкого вимірювання концентрацій токсичних елементів на місці з метою дослідження екологічного стану водних об'єктів довкілля були встановлені такі основні вимоги:

- безперервна автономна робота без підключення до інтернету в польових умовах;
- робота в польових умовах на місці з підключенням до інтернету;
- робота в лабораторних умовах з підключенням до інтернету;
- безпека, надійність та довготривале зберігання даних вимірювань.

Польові дослідження без інтернету. Насамперед було реалізовано можливість безперервної роботи технічної системи без підключення до інтернету. За схемою на рис. 4 система польового вимірювання концентрацій хімічних елементів у воді за відсутності зв'язку з інтернетом виконує визначення концентрацій на місці та зберігає результати електрохімічного дослідження у локальній базі даних ноутбука.

Польові дослідження з інтернетом. За наявності підключення до інтернету (рис. 5) технічна система може зберігати одержані результати досліджень моніторингу водних об'єктів довкілля у зовнішній базі даних сервера з використанням мережевих та хмарних рішень для подальшої організації та аналізу екологічних даних.

Виконання польових досліджень екологічного стану водних об'єктів на місці з підключенням до інтернету може здійснюватися шляхом підключення ноутбука до системи зв'язку *Starlink* або за допомоги 3G-5G модема з підключенням до одного з провайдерів бездротового зв'язку (рис. 6). Одержані результати досліджень моніторингу водних об'єктів довкілля відразу записуються у зовнішню

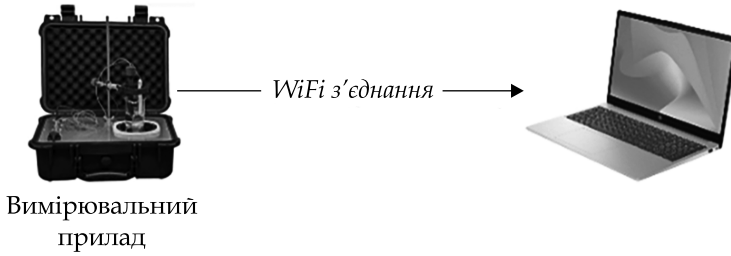


Рис. 4. Схема роботи технічної системи у польових умовах без підключення до інтернету

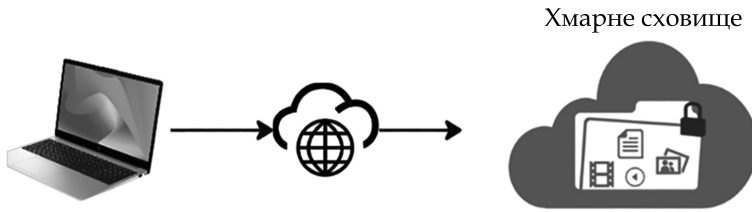


Рис. 5. Схема збереження результатів польових досліджень у хмарному сервері

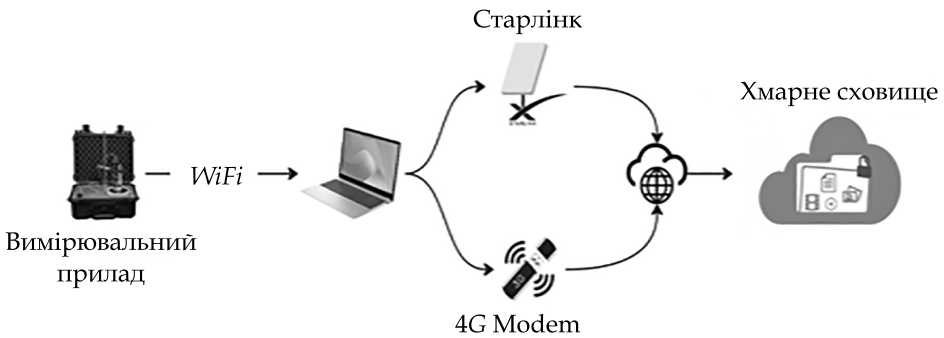


Рис. 6. Схема організації роботи з даними польових досліджень при підключенні до інтернету

базу даних хмарного сервера для подальшої організації та аналізу екологічних даних.

Лабораторні дослідження з інтернетом. Виконання аналітичних досліджень доставлених проб водних об'єктів виконуються у лабораторних умовах з підключенням до інтернету та записом результатів досліджень у локальну або зовнішню БД хмарного сервера. За відсутності інтернету схема роботи технічної системи в лабораторії збігається з описаними схемами роботи системи у польових умовах без підключення до інтернету (див. рис. 4 та 5).

Особливістю вимірювання концентрацій хімічних елементів в лабораторних умовах є можливість паралельної роботи кількох технічних систем з підключенням ноутбуків через LAN з'єднання до ло-

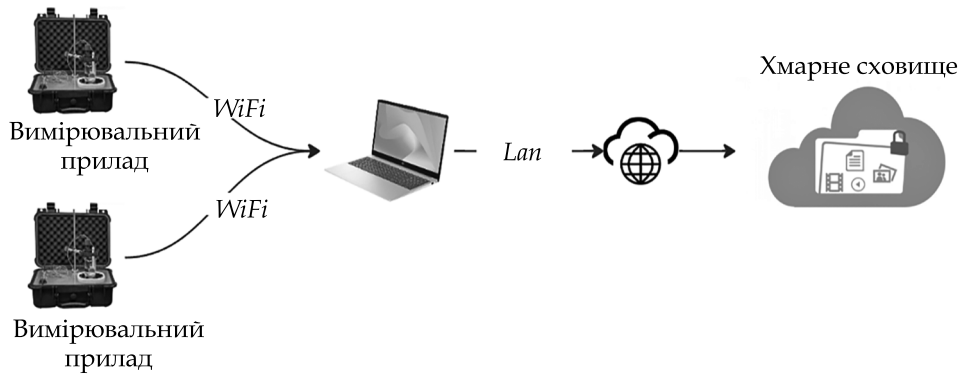


Рис. 7. Схема лабораторних досліджень води з підключенням до інтернету

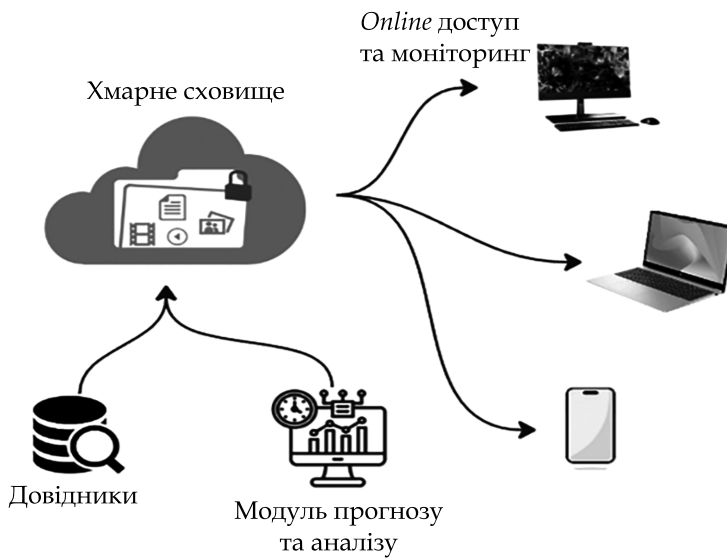


Рис. 8. Схема використання екологічних даних зовнішньої бази даних хмарного сервера

кальної мережі зв'язку або з підключенням до одного з провайдерів бездротового зв'язку за допомогою 3G-5G модема. Іншою можливістю є застосування одного комп'ютера (ноутбука), підключеного до інтернету (рис. 6), з послідовним виконанням аналітичних досліджень, з індивідуальним налаштуванням інтерфейсу зв'язку *Wi-Fi* комп'ютера, з вибраним блоком вимірювання концентрацій хімічних елементів технічної системи.

Також перевагою застосування переносної технічної системи вимірювання концентрацій хімічних елементів в лабораторних умовах є можливість встановлення блока вимірювання концентрацій хімічних елементів у витяжній шафі без необхідності використання кабелів з'єднання блока з комп'ютером, що значно спрощує організацію роботи в лабораторії (рис. 7).

Одержані результати екологічного моніторингу водних об'єктів, записані у зовнішній БД хмарного сервера (рис. 8), можуть бути передані у Державну систему моніторингу довкілля або переглянуті на іншому комп'ютері чи у мобільному додатку. Зовнішня БД у хмарному сервері може бути доповнена новою довідниковою інформацією, доступною всім користувачам переносних технічних систем — методиками вимірювання конкретних хімічних елементів, шаблонами електрохімічних параметрів вимірювання елементів різними методами ІХП на різних вимірювальних електродах у польових та лабораторних умовах дослідження. Застосування модуля прогнозу та аналізу дасть змогу провести інтелектуальний аналіз екологічних даних моніторингу та здійснити прогнозування екологічного стану водних об'єктів чи водних регіонів.

Загальна схема обміну даними в технічній системі вимірювання концентрацій хімічних елементів складається з таких основних компонентів:

- технічна система (робоча станція та вимірювальний пристрій);
- локальне програмне забезпечення та локальна база даних;
- серверне програмне забезпечення та серверна база даних.

Локальний програмний додаток працює з великим обсягом структурованих даних, якими керує локальна система керування базами даних. Для цього використовується реляційна система керування базами даних СУБД *MariaDB (Database Management System)*, яка надає можливість створювати, зберігати, оновлювати та шукати інформацію в базах даних.

База даних розроблена з використанням *ER Diagram for Database* та складається з 36 «довідкових таблиць», що містять опис електрохімічних параметрів вимірювання хімічних елементів на різних вимірювальних електродах, нормовані значення гранично допустимих концентрацій токсичних елементів у різних об'єктах навколишнього середовища тощо, та включає результати вимірювання концентрацій хімічних елементів.

Під час передавання даних через інтернет сервер використовує протокол *HTTPS*, який широко використовується для зв'язку в розподілених системах, і надає такі переваги:

- *шифрування даних*, що передаються за протоколом *TLS*: захищає від використання даних зловмисниками у разі перехоплення;
- *цілісність даних*: дає змогу перевірити, чи не були дані змінені під час передавання в мережі;
- *автентифікація*: дає змогу перевірити ідентичність локальної програми, серверної програми та підтвердити, що вони взаємодіють зі справжніми автентифікованими програмами.

Оскільки кількість локальних користувачів є динамічною, а передавання даних довільно розподілене у часі, до серверної СУБД висувають такі вимоги:

- *масштабованість*: розширення можливостей оброблення зі збільшенням навантаження;
- *висока доступність*: дає змогу локальним програмам підключатися в будь-який час, коли вони мають доступ до серверної програми;
- *відмовостійкість*: дає змогу серверній програмі продовжувати обслуговування локальних програм, навіть якщо певні компоненти серверної СУБД виходять з ладу;
- *довговічність*: гарантує, що дані не будуть втрачені після передавання в СУБД.

СУБД *MariaDB* використовується як сервер, що відповідає зазначеним вимогам з урахуванням таких факторів:

- реплікація з типами *Master-Slave* та *Master-Master* для підвищення доступності та відмовостійкості;
- відновлення в момент часу (*point-in-Time Recovery*) — це можливість відновлення після виходу з ладу будь-якого з компонентів;
- вбудовані рішення для резервного копіювання;
- підтримка постачальниками хмарних послуг.

Програмна ініціалізація технічної системи

Під час встановлення локального програмного застосунку спочатку налаштовується БД. Це робиться за допомоги підходу міграції схеми БД. Кожна версія застосунку постачається з певним набором упорядкованих файлів, набір команд *SQL DDL* (мова визначення даних) та *DML* (мова маніпулювання даними).

Під час запуску програми перевіряються наявні файли, і якщо є файли, які ще не були застосовані, то програма виконує команди в такому файлі та зберігає інформацію про нього в окремій таблиці бази даних. Під час оновлення версії програми додаються лише нові файли, які змінюють дані або їх структуру в БД, причому старі файли не видаляються. Це дає змогу контролювати узгодженість даних та їх структуру на різних екземплярах програмного застосунку.

Вимірювальний пристрій передає всі отримані дані на робочу станцію (ноутбук) під час процесу вимірювання за допомоги технології *Wi-Fi*. Локальне програмне забезпечення обробляє та структурує дані, отримані від пристрою, і надсилає їх до локальної системи управління БД для зберігання.

Для довгострокового зберігання даних пропонуємо використовувати хмарне сховище даних, яке забезпечує їх безпеку та надійність. Воно складається з серверного застосунку та серверної системи управління БД. Серверний програмний додаток надає *API* для взаємодії з локальними застосунками, перевіряє отримані дані та надсилає їх до серверної системи управління БД для зберігання.

Під час вирішення конфліктів синхронізації даних, пов'язаних з окремим екземпляром локальної програми, використовується прин-

цип незмінності даних. Під час кожного сеансу роботи пристрою отримані дані пов'язуються з певним згенерованим ключем (ідентифікатором) у форматі *UUID* (універсальний унікальний ідентифікатор). Після цього локальна програма не змінюватиме дані, пов'язані з цим ключем. До БД сервера можна додавати лише дані про нові вимірювання.

Використання описаної технології обміну даними в технічній системі вимірювання концентрацій хімічних елементів значно спростило програмну реалізацію локального застосування технічної системи та якісне зберігання отриманих даних у хмарній серверній СУБД шляхом передачі даних через інтернет.

Висновок

Технічні системи визначення екологічного стану водних об'єктів потребують ефективної організації даних для збору, зберігання, оброблення та аналізу. Використання мережевих та хмарних рішень забезпечує надійність, масштабованість та доступність даних у реальному часі. Сучасні мережеві та хмарні рішення дозволяють ефективно інтегрувати системи вимірювання концентрації хімічних елементів в автоматизовані системи збору та оброблення даних. Це підвищує продуктивність, зменшує ризик втрати інформації та забезпечує аналіз даних у режимі реального часу.

Описано розроблену авторами портативну технічну систему вимірювання концентрацій хімічних елементів на основі застосування методів ІХП. Впроваджена технологія обміну даними значно спростила програмну реалізацію локального застосування технічної системи та якісне зберігання отриманих даних у хмарних серверних СУБД шляхом передачі даних через інтернет.

Фінансування

Це дослідження виконано за грантової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках проєкту «Портативний програмно-апаратний комплекс для швидкого визначення токсичних речовин у водоймах, забруднених внаслідок військових дій» (реєстраційний номер 2023.04/0128), що реалізується за напрямом «Наука для зміцнення обороноздатності України».

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Regulations on the State Environmental Monitoring System. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 30, 1998, No. 391 (as amended by No. 1071 (1071-2024-p) dated 06.09.2024). [in Ukrainian: Положення про державну систему моніторингу довкілля. Постанова Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р. № 391 (зі змінами № 1071 (1071-2024-п) від 06.09.2024)] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text>

2. DSanPiN 2.2.4-171-10. State sanitary norms and rules. Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption. Order of the Ministry of Health of Ukraine dated 12.05.2010 No.400. Register. July 1, 2010, No. 452/17747 (as amended by No 1984 dated 29.11.2024). [in Ukrainian: ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми і правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною." Наказ МОЗ України від 12.05.2010 № 400. Реєстр. 1 липня 2010 р. за № 452/17747 (зі змінами № 1984 від 29.11.2024)] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#n25>
3. VeerasekharReddy B., Sarath S., Philip J., Reddy U.S., Naresh L., Tejaswini K. Water Quality Monitoring System using IoT and Cloud. 2023 *International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS)*, 14-16 Jun. 2023, IEEE, Coimbatore, India. <https://doi.org/10.1109/ICSCSS57650.2023.10169212>
4. Iordache G., Balanescu M., Suciuc G., Birdici A., Pasat A., Zatreanu I., Paun M., & Bucuci S. The PIMEO AI project – a Cloud based platform for water quality monitoring. 23rd *International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, 26-28 May 2021, IEEE, Bucharest, Romania, 529-535. <https://doi.org/10.1109/CSCS52396.2021.00092>
5. Bernalte E., Arévalo S., Pérez-Taborda J., Wenk J., Estrela P., Avila A., Di Lorenzo M. Rapid and on-site simultaneous electrochemical detection of copper, lead and mercury in the Amazon river. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2020, Vol. 307, Article 127620. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127620>
6. Xu F., Wang P., Bian S., Wei Y., Kong D., Wang H. A Co-Nanoparticles Modified Electrode for On-Site and Rapid Phosphate Detection in Hydroponic Solutions. *Sensors*, 2021, Vol. 21 (1), Article 299. <https://doi.org/10.3390/s21010299>
7. Hackel L., Rotureau E., Morrin A., Pinheiro J.P. Developing On-Site Trace Level Speciation of Lead, Cadmium and Zinc by Stripping Chronopotentiometry (SCP): Fast Screening and Quantification of Total Metal Concentrations. *Molecules*, 2021, Vol. 26 (18), Article 5502. <https://doi.org/10.3390/molecules26185502>
8. Zhou Y., Wang H.L., Song D., Li Z.G., Han S.T., Long F., Zhu A.N. Simple, rapid, and sensitive on-site detection of Hg²⁺ in water samples through combining portable evanescent wave optofluidic biosensor and fluorescence resonance energy transfer principle. *Anal. Chim. Acta* 2021, Vol. 1155, Article 338351. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2021.338351>
9. Zhang H.J., Wang D., Zhang D., Zhang T.T., Yang L.K., Li Z.P. In Situ Microfluidic SERS Chip for Ultrasensitive Hg²⁺ Sensing Based on I-Functionalized Silver Aggregates. *Acs Appl. Mater. Interfaces* 2022, Vol. 14, 2211-2218. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c17832>
10. Liang Y., Ma M., Zhang F., Liu F., Lu T., Liu Z., Li Y. Wireless Microfluidic Sensor for Metal Ion Detection in Water. *ACS Omega*, 2021, Vol. 6, 9302-9309. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00941>
11. Portable VA Analyzer (SPE). URL: <https://www.metrohm.com/en/products/2/9460/29460020.html>
12. Device for measuring the concentration of chemical elements by pulsed chronopotentiometry: patent 123459, Ukraine: IPC G01N 27/48 (2006.01), a201902429, claimed 12.03.2019, published 07 Apr. 2021. [in Ukrainian: Пристрій для вимірювання концентрації хімічних елементів методами імпульсної хронопотенціометрії: патент 123459 Україна]
13. Surovtsev I., Stepashko V., Galimova V., Savchenko-Syniakova Ye. System Modeling of a Multicomponent Differential Signal of Stripping Chronopotentiometry. *In: Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS 2024), Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, 2025, Vol. 1391, 32-43. https://doi.org/10.1007/978-3-031-90735-7_3
14. Mezni, H., Driss, M., Boulila, W., Atitallah, S. B., Sellami, M., & Alharbi, N. Smartwater: A service-oriented and sensor cloud-based framework for smart monitoring of

- water environments. *Remote Sensing*, 2022, Vol. 14 (4), Article 922. <https://doi.org/10.3390/rs14040922>
15. Nadica Stojanovic, Dr. Sunita Chaudhary. Real-Time Water Quality Monitoring in Aquaculture using IoT Sensors and Cloud-Based Analytics. *Research Journal of Computer Systems and Engineering (RJCSSE)*, 2023, Vol. 4 (2), 174–187. <https://doi.org/10.52710/rjcse.86>

Отримано / Received 01.08.2025

I.V. SUROVTSEV, DSc (Engineering), Senior Researcher,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1133-6207>
igorsur52@gmail.com

V.M. GALIMOVA, PhD (Chemical), Associate Professor,
Department of Analytical and Bioinorganic Chemistry and Water Quality,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
17, Heroiv Oborony st., Build. No. 2, Kyiv, 03041, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9602-1006>
galimova2201@gmail.com

V.S. LIYAHOV, PhD Student,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0004-5332-1104>
vlyahov@gmail.com

A.K. KHANEVYCH, PhD Student,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0009-3294-662X>
andrii.khanevych@gmail.com

Ya.M. ANTONIUK, Senior Researcher,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0005-7680-5950>
ant@noc.irtc.org.ua

ORGANIZATION OF WORK WITH ECOLOGICAL DATA OF MONITORING OF ENVIRONMENTAL WATER BODIES BASED ON NETWORK AND CLOUD SOLUTIONS

Introduction. When conducting operational environmental monitoring of water bodies, it is important to use modern portable technical systems for rapid determination of the content of chemical substances in water, which ensure effective organization of work with measurement data – their collection, transmission, storage, processing and analysis.

The purpose of the paper is to develop network and cloud solutions for long-term storage, processing, and analysis of environmental data from monitoring water bodies obtained in the field using a portable technical system for rapid measurement of chemical element concentrations.

Methods. For environmental monitoring, a developed portable software and hardware complex for rapid determination of chemicals in water bodies is used. Measurement of concentrations of toxic elements in water is carried out by electrochemical methods of inversion chronopotentiometry using measuring electrodes made of gold, platinum, cobalt. Modern network and cloud solutions are used, which allow for the effective integration of technical measurement systems into automated data collection and processing systems.

Results. A portable system for rapid measurement of chemical element concentrations, consisting of a laptop computer with information technology software and a local database, and a portable concentration measurement unit with an autonomous power supply and a *Wi-Fi* communication interface, allows for rapid determination of toxicological parameters of water quality and safety in the field, and can also be used in the laboratory for extended studies to determine the ecological state of environmental objects. The use of network and cloud solutions provides reliability, scalability, and data availability to many users, which increases productivity, reduces the risk of information loss, and provides real-time data analysis.

Conclusions. The study showed that the use of the created portable system for rapid measurement of chemical element concentrations ensures effective implementation of environmental monitoring of water bodies. The developed data exchange technology allowed to significantly simplify the software implementation of the local application of the system and ensure high-quality storage of the obtained environmental data in a cloud server by transferring data via the Internet.

Keywords: *information technology, portable system, concentration of chemical elements, inversion chronopotentiometry, environmental monitoring, data processing, network solutions, cloud technologies.*