

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 543.421/.424

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.6>

МОНІТОРИНГ ВІДНОСНОГО ВМІСТУ НІТРАТІВ У ВОДАХ

Бойчун С.О.¹, Мельніченко Д.С.², Таранов В.В.²

¹Науково-виробниче підприємство Ламбіт-Ентіс
пров. Лабораторний, 7, 03150, Київ

²Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 01033, Київ
lambit@ukr.net

На сьогодні, отримання своєчасної інформації про перевищення допустимого значення забруднювачів у річках та озерах є необхідним завданням екологічного спостереження. Результат довготривалих досліджень, надав можливість побудувати новий прилад, що використовує багатоканальну фотометричну схему з застосуванням сучасних потужних ультрафіолетових світлодіодів. Використання УФ випромінювачів з потужністю до 10 мВт в спектральному діапазоні 265–380 нм, та фотодіодів з чутливістю не менш як 0,1 А/Вт, дозволило отримати чутливість до нітрат-йонів вже на рівні 1 мг/л. Проведені досліди на лабораторних зразках, де основою була вода з артезіанської скважини, а в якості додаткових забруднювачів використано розчин нітрату натрію та сіру глину показали можливість визначення саме нітрат йону на рівні від 1 до 600 мг/л. Кореляційна обробка не менш як 400 вимірювань на кожному з каналів надавала результати з відносною похибкою не більш як 2% від фактично введеної кількості нітратів. Наступний крок випробувань проведено на зразках води отриманих з річок та озер України. Попередня обробка проточної води складалася лише з фільтрації (1–5 мкм). Відносні результати вмісту нітрат йону було отримано на новому дослідному приладі в масштабі реального часу на протязі доби. Для перевірки результатів використовували відносні значення вмісту нітрат йону отримані на йонетрі (Н-201), а також лабораторними фотометричними методами за сертифікованими методикам. Отримані результати вже сьогодні спрямовані на побудову комплексного обладнання для відносного моніторингу водного середовища, що дозволить формування обґрунтованих рекомендацій, реагування та визначення сценаріїв автоматизованих дій. Встановлення таких автоматичних систем спостереження надасть можливість своєчасно попередити забруднення водних ресурсів, можливість контролювати роботу очисних споруд, забезпечувати надання якісної води в магістральні трубопроводи. *Ключові слова:* моніторинг водного середовища, нітрати, обробка інформації.

Monitoring of the relative content of nitrates in waters. Boychun S., Melnichenko D., Taranov V.

An essential task of environmental monitoring is obtaining timely information on main pollutants as they exceed the permissible values in rivers and lakes. The results of long-term research has made it possible to build a new device that utilizes a multi-channel photometric circuit based on new generation of high-power ultraviolet LEDs. The use of modern UV emitters with a power of up to 10 mW in the spectral range of 265–380 nm, and photodiodes with a sensitivity of at least 0.1 A / W, allowed to obtain a sensitivity to nitrate ions at the level of 1 mg/l. The initial evaluation was conducted on laboratory samples, composed of the artesian well water and sodium nitrate solution with gray clay used as an additional contaminant. The results demonstrated sensitivity to the nitrate ion at the levels of 1 to 600 mg / l. Correlation processing of at least 400 measurements on each of the channels provided results with a relative error within 2–3% compared to actually introduced amount of nitrates. The next set of the tests was performed on water samples obtained from rivers and lakes of Ukraine. Pre-treatment consisted only of mechanical filtration (1–5 μm). The relative levels of nitrate ion content were recorded on a new experimental device in real time during the day. The results of nitrate contamination obtained on the new device coincided with the relative values obtained with the ionometer (H-201) as well as by photometric method according to current certified methodologies.

Today the obtained results are aimed at the construction of new equipment for relative monitoring of the aquatic environment. The proposed complex would provide the solid base for environmental control, recommendations, response and determination of scenarios of automated actions. The installation of such automatic monitoring systems will provide the new opportunity to prevent pollution of water resources, the ability to control the operation of treatment facilities, to ensure the provision of quality water to main pipelines. *Key words:* expression-metry of the aquatic environment, analysis of measurement results in real time, nitrates, transmission of information via Internet channels.

Постановка проблеми. В умовах швидкого розвитку технологій збору, обробки даних, інтеграції доступ до результатів метрологічних вимірювань суттєво покращує якість прийняття рішень. Автоматизувати їх шляхом глибокої інтеграції гарантовано релевантних показників безпосередньо в середовище реагування. Ключовими компонентами подібних взаємосумісних «розумних» систем є:

– безпосередньо метрологічне обладнання – датчики, котрі збирають дані, автономні мікро-машини нового покоління;

– стаціонарні лабораторні вимірювальні машини, що передають дані в цифрову мережу та відносяться до вживаного сьогодні класу IoT-пристроїв (від англ. Internet of Things – Інтернету речей).

Алгоритми обробки даних – гарантування об'єктивності роботи обладнання та їх верифікація для

сертифікації показників у вигляді доказів, перетворення отриманих параметрів у необхідні одиниці вимірювання для контролю. У випадку виявлення відхилення отриманих показників, саме для полегшення прийняття рішення – автоматично генеруються варіанти повернення системи до норми. Достатньо динамічною сферою в світі є (IoT), згідно з дослідженням Ericsson, в 2022 році в світі буде підключено 30 мільярдів пристроїв, з них IoT-пристроїв – 16 мільярдів і цей показник буде зростати на 24% щороку до 2025. При цьому різноманітні сенсори та датчики є основною частиною ринку IoT [1, 2].

Актуальність дослідження. Одним із головних ресурсів на землі, безумовно, є водне середовище. Саме завдяки своїм унікальним властивостям, вода відіграє основну роль практично у всіх процесах і явищах, які оточують нас у матеріальному світі. Значна кількість водоносних горизонтів сьогодні вже забруднена різними шкідливими для організму людини сполуками. Контроль фізико-хімічних параметрів у реальному часі породжує все більше нових технічних рішень для реалізації поставленого завдання. В останніх роботах ми вже провели дослідження в реальному часі окремих частинок у воді, кластерів в розмірному спектрі 0,5–100 мкм, що дозволило оцінити загальне забруднення нерозчинними частинами, кластерний стан рідини [3]. На особливу увагу серед них заслуговують нітрати, які є постійними складовими природних вод. За вимогами «Санітарних правил по влаштуванню і утриманню криниць і каптажів джерел, використовуваних для децентралізованого господарсько-питного водопостачання» (№ 1226-75) вміст нітратів в колодязній та джерельній воді не повинно перевищувати 45 мг/л, в перерахунку на нітроген нітратів – 10 мг/л. Якщо ж концентрація нітрат-іонів у воді перевищує ці показники, то використання подібної води становить серйозну загрозу для здоров'я людини [4, 5]. При щоденному вживанні забрудненої нітратами води розвивається хронічна азотна інтоксикація. Шкідливими для здоров'я є не самі нітрати, а продукти їх відновлення – нітрити, що утворюються безпосередньо в організмі під впливом мікрофлори шлунково-кишкового тракту. Нітрити потрапляють у кров, де утворюють метгемоглобін – з'єднання, не здатне переносити кисень. Рівень метгемоглобіну >50% може бути смертельним. Більше того, нітрити можуть утворювати високотоксичні сполуки – нітрозаміни, що належать до канцерогенів прямої дії та вражають шлунково-кишковий тракт.

При визначенні нітратів використовують фотометричний, флуориметричний, потенціометричний, хемілюмінесцентний та інші методи. При аналізі каламутних та пофарбованих розчинів застосовують хемілюмінесцентний метод визначення нітратів та нітритів у водах за допомогою газової екстракції діоксиду азоту та детектування за світінням розчину

люмінолу [6], межа якого становить 0,03 мг/дм³, а непрямим методом утворення йоду –0,4 мг/дм³. Метод заснований на комплексоутворенні за допомогою додаткових матеріалів с нітратом і подальшим вилученням отриманого комплексу з водного розчину мікро-кристалічним нафталіном. Без розведення або концентрування нітрат-іони можна визначити у діапазоні від 0,1 до 20 мг/дм³. Даний метод вимагає, перш за все, тривалого часу на його реалізацію, а також має обмежений діапазон вимірюваних концентрацій, що не дозволяє його використовувати в реальному масштабі часу для контролю за природними водами. Розроблений безреагентний метод визначення нітратів у воді трихвильовою фотометрією в ультрафіолеті [7]. показав граничні можливості спектрометрії, виявляючи вже 1 мг/дм³ нітратів у воді. Попередні експериментальні перевірки цього методу проведені нами на кюветах довжиною 5 і 10 см з використанням ламп на дейтерії та окремо взятих світлодіодів. Підготовка контрольних розчинів KNO₃ в лабораторії ІКХХВ НАУ та їх перевірка згідно методу наданому в роботі [7]. Дозволили провести серію експериментальних вимірювань з різними концентраціями. Використовуючі на той час найпотужніші світлодіоди в УФ площині довжину кювети доведено до 80 мм, а вимірювання, світла яке пройшло оцінювалось вже фотоприймачами, замість раніше застосованих фотопомножувачів. Починаючи з цього діапазону ми перейшли на іншу спектральну площину для визначення нітратів (див. рис. 1). Працюючи в спектральній площині 280–310 нм вперше досягли можливості оцінювати наявність домішок вже на рівні від 100 до 5 мг/л. Перші результати на іншому контурі поглинання для вимірювання для нітратів надані в роботі [8].

Мета роботи. Аналізуючи базу даних водопровідної води, спостерігаються різні тенденції забруднюючих речовин, наприклад там, де вже існують такі можливості, а саме в Міннесоті (США) виявлено 97, серед найбільш поширених забруднень у штаті виявлено *радій та нітрати*, їх ідентифікували у більш ніж 100 000 будинках. Сучасні апарати досить громіздкі та дорогі, щоб ставити їх як датчики та ще й в великій кількості. Продовження

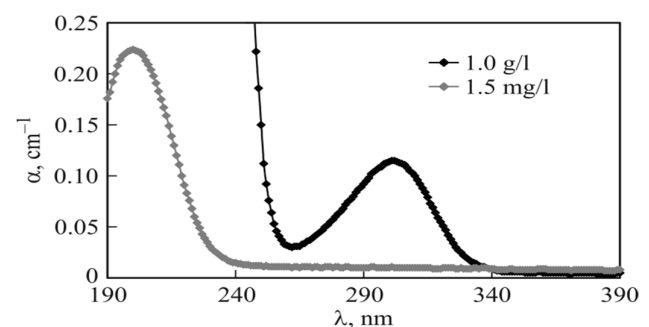


Рис. 1. Характеристика поглинання нітратів при двох різних концентраціях

досліджень та побудова малогабаритних датчиків, застосовуючи нову елементну базу надала результати саме для цієї роботи.

Мета нашої роботи полягала в тому, щоб розробити датчик на світлодіодах та напівпровідникових приймачах, повністю звільнившись від «важкого обладнання». Сучасна технологія дозволяє сьогодні застосовувати «LED» випромінювачі починаючи з довжини хвилі 265 нм, де реально отримати до 10 мВт потужності світла, спрямованого в довгу кювету (більш за 110 мм). Зважаючи що нас цікавить наявність саме великих концентрацій, більш як 4 мг/л для дослідів вибрана спектральна площа від 265 до 390 нм [8]. Для побудови нового приладу за основу взято фотометричний метод, в основі якого лежить закон експоненційного зменшення інтенсивності світла при його проходженні в середовищі з товщиною X (Бугера-Ламберта-Бера): $I_1 = I_0 \exp^{-\varepsilon_\lambda x}$; де I – інтенсивність світла на глибині матеріалу, I_0 – інтенсивність світла на поверхні, $-\varepsilon_\lambda$ – показник поглинання.

У нашому приладі використані саме три напівпровідникові світлодіоди, що працюють в діапазоні 265–360 нм. Кожний охоплює в цьому діапазоні ширину лінії не більше як 4–5 нм на рівні 0,7 в трьох окремих спектральних площинах. Для прийому випромінювання, яке пройшло довгу кювету використано три чутливих в УФ площені фотоприймача. Попередні результати роботи для кількісного аналізу нітратів наведені в роботах [9, 10], знайдені калібровочні залежності, Данні для оцінки нітрат-іона, отримувалися тільки статично, кожного разу змінюючи водне середовище в кюветі.

Виклад основного матеріалу. В цій роботі відображені *перші експериментальні* результати трьохканального вимірювання через проточні кювети з довжиною l_x до 110 мм, які в 3 рази довші за лабораторні, що також згідно закону Бугера-Ламберта-Бера надвало перевагу в чутливості до 20 разів. Враховуючи закон поглинання рідини, де значення оптичної щільності – C_x досліджуваного розчину дорівнює: $A_x = \varepsilon_\lambda C_x l_x$. Значення оптичної щільності стандартного розчину – C_{cm} , дорівнює: $A_{cm} = \varepsilon_\lambda C_{cm} l_{cm}$. Розділивши одне значення на інше одержимо (був інший шриффт):

$$A_x/A_{ct} = \varepsilon_\lambda C_x l_x / (\varepsilon_\lambda C_{ct} l_{ct})$$

Так як $l_x = l_{ct}$, $\varepsilon_\lambda = \text{const}$, то $C_x = C_{ct} A_x / A_{ct}$. Метод порівняння застосовуємо багатократно при при кожному вимірюванні на одній довжині хвилі не менш як 400 разів, відокремлюючи результати які значно менші, та більші на 50% від середніх значень. Для автоматичної обробки великої кількості результатів вимірювання розроблено програмне забезпечення, що дозволило виконувати одночасно й реєстрацію результатів, та вивод реальної інформації на екран монітора. Алгоритм програмного забезпечення зображено на рис. 2. Саме розробка та налагодженн програми дозволили проводити вилуку кількість

вимірювань (не менш як 400–800) за час не більше як 1–2 с, обробляти результати– знаходяче фактичне значення домішків нітратів. Окрема робота зроблена для фактичного відображення результатів, їх порівняння та надання висновків про стан водного середовища.

Попередня робота була направлена саме на калібровку 3-канального датчика для оцінки вмісту нітратів у проточному водному середовищі. Після визначення всіх коефіцієнтів поглинання характерних саме для розчину нітратів згідно спектральних характеристик та оптимізації алгоритму обробки були погоджені коефіцієнти перетворення оптичних втрат в кожному з трьох каналів. Для досягнення відповідної оцінки стану нітрат-іонів результати порівнювалися з додатковими вимірюваннями за додатковими методиками. Поступове збільшення концентрації введеного розчину NaNO_3 , на 3 мг/л – наведено на рис. 3.

Кількість іонів NO_3^- , зображено пунктиром, а результат вимірювання після програмної обробки – на графіку зображено безперервно.

Сучасна елементна база, а саме потужні УФ випромінювачі з потужністю 8–12 мВт в імпульсі та достньо чутливі фотоприймачі (0,1 А/Вт) дозволили підійти до конструювання та виготовлення 3-х та 4-х каналних датчиків, що працюють в масштабі реального часу. Довжина вимірювального каналу зі зміною водного середовища досягає 110 мм, що надало можливість відчувати зміни вже на рівні від 1 мг/л. Наявність контрольного каналу, відповідального за наявність зміни прозорості на 300 одиниць, для чого додатково вводили розчин сірої глини, що дозволило проводити вимірювання нітрат-іонів до 400 мг/л. Саме в цьому напрямку проведені перші виміри забруднення вод з різних джерел, що надало можливість *простежити історію забруднення в часі*, визначити якість та кількість забруднюючих речовин в акваторії за певний період, що виникли у воді та є наслідком забруднення вод.

Наступним кроком було напрацювання методів компенсації мутності водного середовища. Згідно методичних рекомендацій, ми застосували розчин сірої глини, яку поступово вводили в водне середовище разом з домішками нітратів. На рис. 4 (а) наведено приклад результатів вимірювання по трьом каналам, починаючи з часу 14:50 – вводимо розчин сірої глини, на її дію особливо реагують усі три канали, що врховується під час обробки, графіку (series 2) – це поведінка опорного каналу під час введення сірої глини та розчину нітратів, – (series 3) поведінка основного вимірювального, (series 4) – додаткового вимірювального, а починаючи з часу 15:41 – поступово вводимо розчин нітратів. Враховуючи значення трьох каналів на рис. 4 (б) наведено результат розрахунку нітратів у водному середовищі, незначна зміна нітратів повязана з відповідними потоками через вимірювальні канали. При збільшенні часу

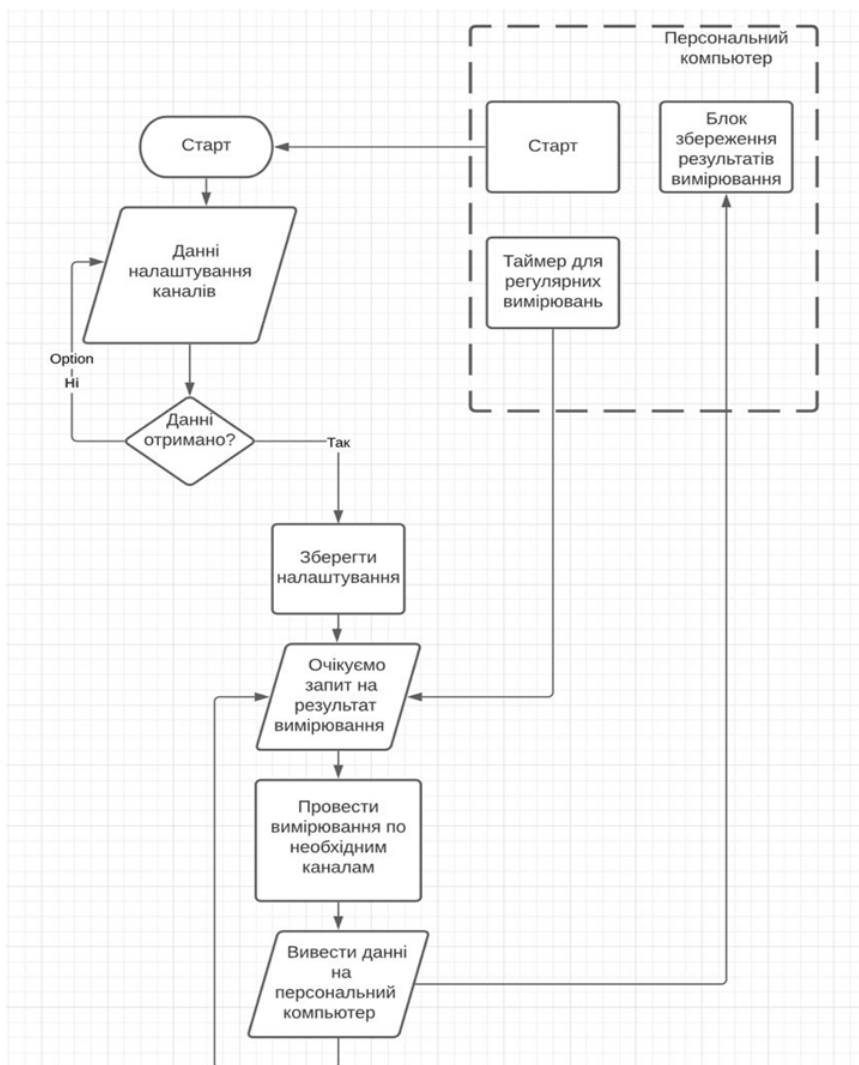


Рис. 2. Наведено алгоритм програмної обробки результатів вимірювання та винесення на екран монітора в реальному часі

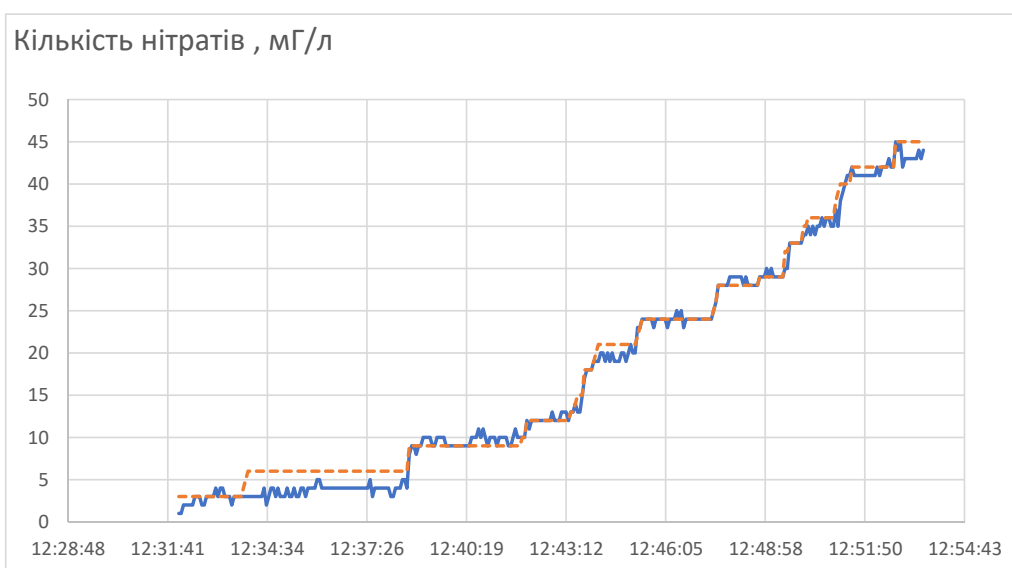


Рис. 3. Стан водного розчину при поступовому введенні нітратів по 3 мг/л (графік пунктір) та результат обробки водного розчину (графік-безперервна) на протязі 20 хвилин

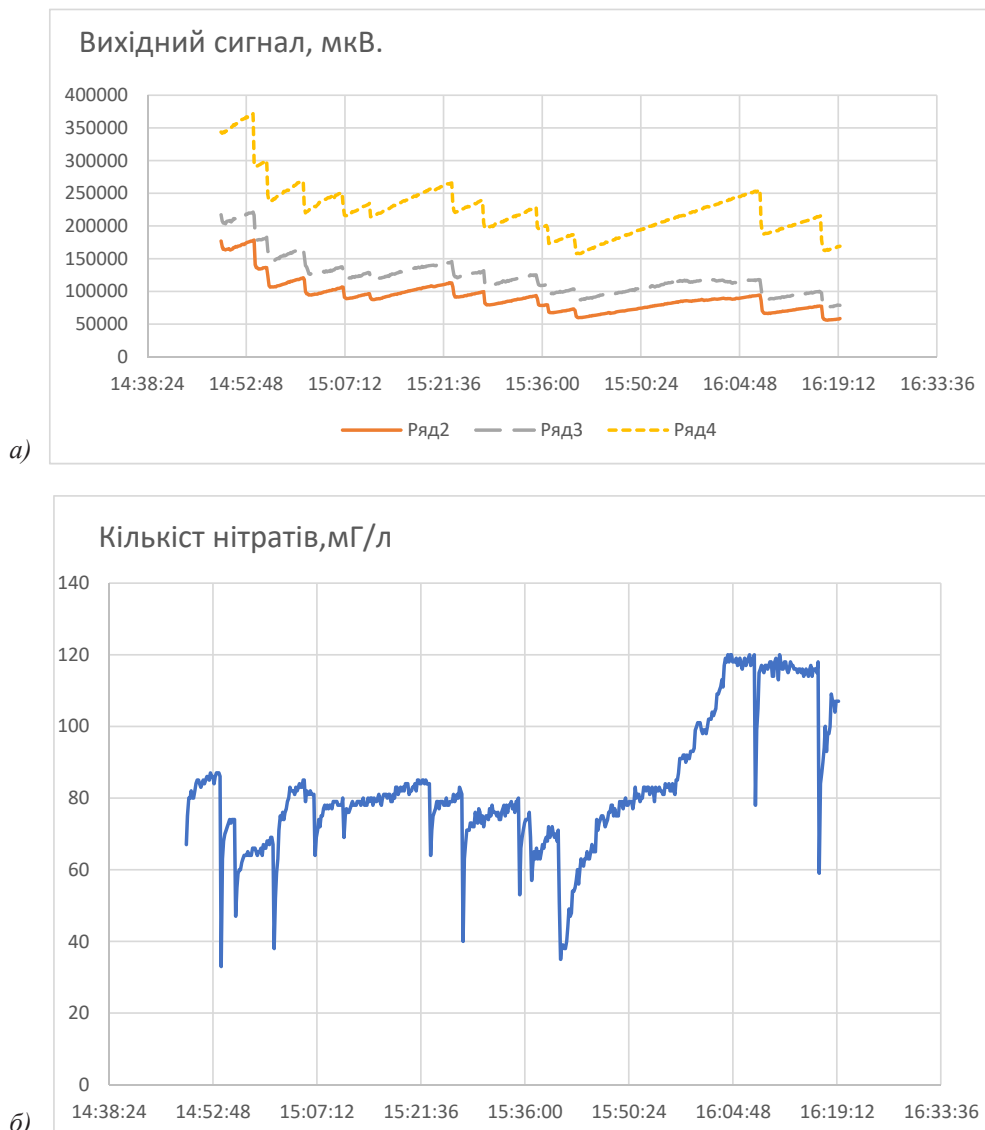


Рис. 4. Наведено вихідний сигнал на кожному з трьох каналів при проходженні світла водного розчину при поступовому введенні сірої глини та NaNO_3 в ємність з водою до 1 літра (а) та результат обробки (б) на протязі 60 хвилин

між кожним вимірюванням, як буде показано надалі, ці похибки компенсуються.

Останній приклад стану водного середовища на протязі 60-ти хвилин свідчить, що при додаванні в розчин сірої глини, починаючи з часу в 15:52, прозорість в опорному каналі змінювалась більш як на 50%, а наявність NaNO_3 знаходилась в стані приблизно 80 мГ/л. Подальше додавання розчину нітратів в кількості 40 мГ/л з 15:50 – привело до підвищення концентрації до 120 мГ/л в 16:04. Результати, отримані в на реальних умовах вже передаються через існуючі інтернет-канали для подальшого аналізу. Прийняття рішення та розробка належних сценаріїв реагування призводить до численних ускладнень використання професійних метрологічних даних фахівцями з інших індустрій. Ризики помилок у реагуванні, можуть спричинити зміни технологічного процесу, зміну якості матеріалів, небажані ситу-

ації після зміни хімічного стану води. Подальший аналіз та адаптація результатів дозволить операторам державних та корпоративних моніторингових систем отримувати готові рішення на основі заздалегідь розроблених алгоритмів, що буде знижувати фактор людських помилок, інтегрувати метрологічні дані до процесів прийняття рішень. В один момент після отримання даних з віддаленого метрологічного обладнання можливо забезпечити оптимальне реагування на потенційні ризики, або ж повністю їх усунути без втручання людини. Для побудови такої взаємопов'язаної та взаємосумісної автоматизованої макро-системи пропонується використання мікро-машинної метрологічної моделі (ММММ), наведена на рис. 5 та складається з 3-х компонентів:

1. *Множина засобів метрології* води, атмосфери, машин та мікро-машин, що поєднані через протоколи один з одним, функціонують на базі

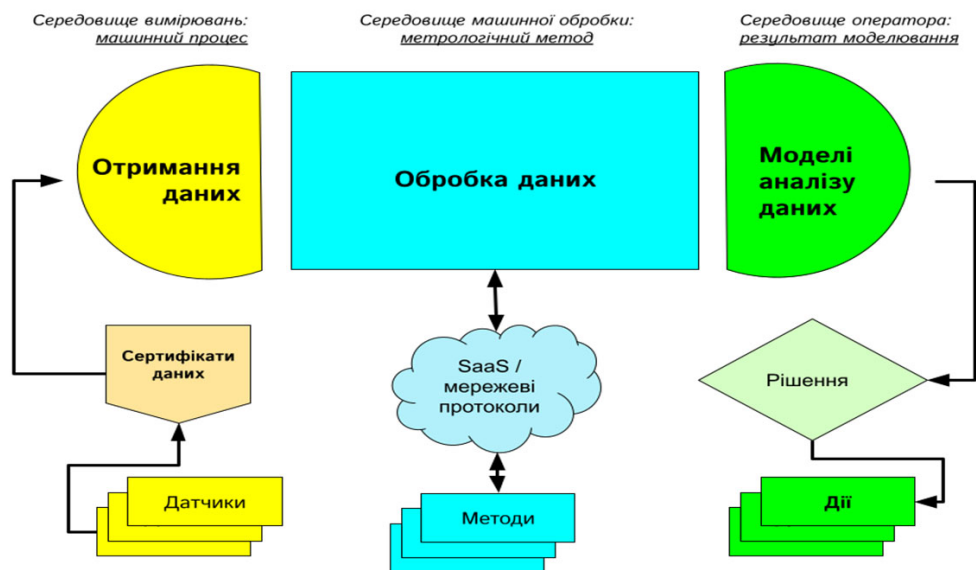


Рис. 5. Схема машинно-метрологічної моделі

IoT-архітектури та мають підтверджений цифровий сертифікат з інформацією про те, як робилось вимірювання, які засоби використовувались, які методи можуть бути застосовані, для вимірювань та передані для подальшої обробки;

2. *Множина метрологічних методів аналізу* та обробки результатів у відповідності з системою мір SI, котрі фіксують науково-обґрунтований результат досліджень у відповідності до стандартів та законів метрології;

3. *Множина моделей реагування на події* у відповідності до бази даних еталонів, переліку загроз, алгоритмів знаходження необхідних хімічних елементів чи сполук, промислове застосування на виробництвах, широкий спектр питань безпеки тощо.

Ключовими результатами впровадження моделі є:

1. Суттєве підвищення умінь операторів за рахунок автоматизованих моделей прогнозування та аналізу.

2. Забезпечення єдності методів та засобів вимірювання.

3. Пряма інтеграція даних в системи прийняття рішень без ризику людської помилки.

В якості середньострокової та довгострокової перспективи важливо розглянути промислову індустрію виробництва продуктів масового та спеціалізованого характеру, адже з моменту впровадження концепції IoT, більш ніж два десятиліття тому, було реалізовано багато покращень у різних комерційних чи соціальних сферах. Немає сумнівів, що точні параметри в процесах виготовлення продукції, обробка великих даних різних етапів виробництва, збір профілів поведінки споживачів, підвищує ефективність виробництва, скорочує час випуску продукції на ринок та зменшує експлуатаційні витрати. На виробництві цей новий підхід, який використовує розумні

пристрої та інтелектуальні датчики на основі IoT, називається Промисловий Інтернет речей (Industrial IoT – IIoT). Основні світові компанії з різних секторів, таких як: виробництво, автомобільна промисловість, гірничодобувна промисловість та авіація, користуються перевагами парадигми IIoT. Супутні технології також надають можливості для калібрувальних задач, забезпечуючи синхронізацію й обмін даними між метрологічними пристроями в різноманітних умовах та середовищах [11]. У свою чергу, світ IIoT має бути забезпечений точною та своєчасною інформацією про калібрування, для підвищення ефективності процесів. Наявність багатьох чутливих вимірювальних приладів у споживачів формує потребу калібрування сертифікованими експертами і може бути спрощена за допомогою мережевих та автоматизованих рішень. Це стає можливим завдяки аналізу та порівнянню даних в режимі реального часу за допомогою спеціалізованих інформаційних систем, а також використанню нового підходу до обчислення великих даних за допомогою нейромереж.

Після програмної обробки з урахуванням додаткового каналу, що оцінює прозорий стан водного середовища, отримали рекордний, на сьогодні, результат вимірювання нітрат-іонів до 600 мг/л. На рис. 6 надано графік зміни, де поступово збільшували концентрацію розчину NaNO_3 у воді (де саме у NO_3 належить 73%), а час вимірювання та відображення на екрані монітора був не більш як 2 с. Тобто, реалізовано метод вимірювання стану водного середовища в масштабі реального часу. Звісно такі вимоги важливі саме для слідкування за технологічними процесами як в промисловості, так і в потужних системах очистки, де розрахунок йде на кубометри за хвилини може знадобитися час вимірювання не більш, як 10 сек. В реальних водах для аналізу саме стану малих річок – час може буде збільшений

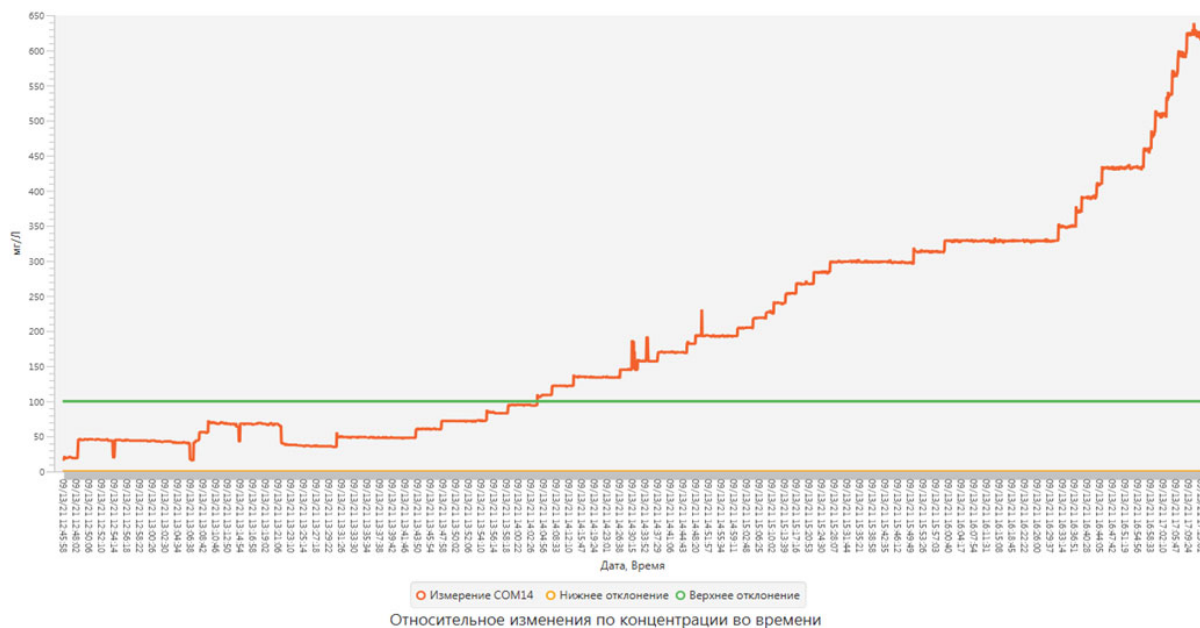


Рис. 6. Реально досягнутий результат при зміні концентрації нітрат-іонів у водному середовищі до 600 мг/л, при вимірюванні на протязі 4 годин

до 10–20 хв на кожне вимірювання, що підвищить якість моніторингу. Саме контроль за водами, які несуть домішки в реальному часі – це шлях до підтримки водного середовища у нормальному стані.

Програмне забезпечення дозволяє в реальному часі не тільки слідкувати за зміною хімічного стану водного середовища, а наводити його інтегральну оцінку та надавати інформацію на монітор оператора, оцінюючи реальний стан, подаючи одночасно сигнал на віддалений комп'ютер. На рис. 7 наведено результат аналізу води за допомогою умовної позначки, наприклад «зелена», відповідає за задовільний стан



Рис. 7. Реальне зображення контрольного монітора з сигнальними позначками, відповідальними за технологічний контроль водного середовища

водного середовища в цей час. При збільшенні забруднення за допустимий розмір, наприклад для домішок нітратів це 40 мг/л, змінюється колір на червоний та подається звуковий сигнал.

Головні висновки. В роботі надані перші експериментальні результати по виявленню домішок нітратів за допомогою багатоканального проточного оптичного датчика. Встановлення потужних світлодіодів, з випромінюванням, яке дозволило надати кількісну оцінку нітрат-іона при проходженні довгої кювети. Програмна обробка на 3-х різних спектральних лініях надало можливість врахувати додаткові домішки й покращити достовірність результатів вимірювання. Дослідна конструкція з розташуванням випромінювачів та приймачів в металевих корпусах, які введені в корпус кювети та робота кожного з каналів у різний час дозволила працювати вже на протязі багатьох днів, отримуючі достовірний моніторинг стану водного середовища.

Виготовлення та встановлення серії датчиків в різних місцях, наприклад у притоках вод Дніпровського басейну, дозволить слідкувати за станом та визначати зміну NO_3 у воді, зберегти її та передавати інформацію на віддалений комп'ютер. Приклад розроблення та виготовлення датчиків: їх випробування вже поширюється на інші хімічні сполуки, надаючи таким чином картину саме тих малих річок які несуть забруднення.

Література

1. Iot sensor market-growth,trends-COVID-19 Impakt.AND Forecasts (2021–2026) / Mordor Intelligence. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/iot-sensor-market> (дата звернення: 1.07.2022).
2. Mahdi Saeedi Nikoo, M. Cagri Kaya, Schwartz, Michael L., Oguztuzun, Halit. Internet of Measurement Things: Toward an Architectural Framework for the Calibration Industry: навч. посібник. Кам (Німеччина): Springer, 2019. С. 81–102.

3. Таранов В.В. Розмірний спектр мікрогених структур як фізико-хімічний стан рідинної системи. *Вісник ХНТУ* № 3(66). Вип. 2, Херсон. 2018. С. 93–101.
4. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ, 2014. 26 с. Мінекономрозвитку України.
5. Гончарук В.В. Наука о воде : монографія. Київ : Наукова думка, 2010. 512 с.
6. ДСТУ 4078-2001 (ISO 7890-3:1998, MOD). Якість води. Визначання нітрату. Ч. 3. Спектрометричний метод із застосуванням сульфосаліцилової кислоти, 1998. 12 с. Введ. 01.01.2003.
7. Калиниченко И.Е., Демущкая Л.Н. Определение нитратов в питьевой воде методом трехволновой фотометрии в ультрафиолете. *Журнал аналитической химии*. 2004. Т. 59, № 3. С. 240.
8. Таранов В.В., Курлянцева А.Ю. Оптический метод определения концентрации нитратов в воде. *Вісник Львівського університету*. Серія хімічна. 2016. Випуск 57. Ч. 1. С. 226–231.
9. Пристрій для фотометричного визначення нітратів у водних розчинах. пат. № 116728 Україна: МПК G01N 33/18, G01N 21/25, G01N 21/33, G01N 21/25 ; заяв. 26.10.2015, опубл. 12.06.2017, бюл. № 11, 12 с.
10. Салівон О.Ю., Зубчук В.І., Таранов В.В. Пристрій для експре-метрії нітратів у воді. *Біомедична інженерія і технологія*. 2018, № 1, С. 5–10.
11. Kaya M.C., Nikoo M.S., Schwartz M.L. Internet of measurement things architecture: Proof of concept with scope of accreditation. *Oguztuzun, H. Sensors Switzerland*. 2020. Vol. 20. № 2. P. 1–3.