

УДК 681.518.3: 535.243.2

В. Г. Петрук, д. т. н., проф.;**І. В. Васильківський**, к. т. н.;**С. М. Кватернюк**;**М. Турчик**;**Н. В. Лопатинська**

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ СВІТЛОРОЗСІЮВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ

Запропоновано автоматизовану систему контролю світлорозсіювальних характеристик водних середовищ та розроблено структурну схему радіобуя, які можуть бути використані для дослідження екологічного стану водних середовищ.

Вступ

Для контролю природного середовища в цілому повинні бути вирішені три основні завдання, що, як і чим контролювати. Для ефективного вивчення й аналізу стану довкілля, прийняття відповідних рішень щодо його поліпшення необхідна адекватна інформація. Це пов'язано з величезним числом замірів різних параметрів, здійснюваних за допомогою автоматизованих, постійно діючих аналізаторів [1]. Важливою й актуальною проблемою в даний час є проведення екологічних досліджень водних середовищ. Водні ресурси є одним із найважливіших і, разом з тим, найуразливіших компонентів навколишнього середовища, які здатні дуже швидко змінюватися під впливом господарської діяльності людини.

У всьому світі ведуться роботи щодо визначення найбільш значущих забруднювальних факторів і створення високоякісних засобів для вимірювання їхньої концентрації у водному середовищі, а також щодо встановлення гранично допустимих концентрацій (ГДК) на відповідні речовини. Актуальність визначення таких забруднювальних факторів очевидна тому, що створити технічні засоби для контролю величезної кількості речовин практично неможливо.

Необхідність такого підходу зумовлена ще й тим, що з кожним роком кількість і розташування джерел забруднення змінюється, що призводить до погіршення загального стану поверхневих вод суші. Тому виникає потреба у своєчасному виявленні і оцінці нових джерел забруднення.

Для забезпечення належного екологічного контролю за станом поверхневих вод суші необхідно, з одного боку, вимірювати параметри забруднення, з іншого – мати критерії для винесення рішень про наявність забруднення середовища за даним параметром.

Характеристика водних середовищ

Забруднення вод призводить до загибелі флори і фауни водоймищ. Розрізняють три основних джерела забруднення природних вод: господарсько-побутові, промислові стоки та стоки, що відводяться із сільськогосподарських угідь. Контроль за скиданням забруднених стічних вод для великих міст і промислових зон є однією із найскладніших проблем екологічного моніторингу. Значною мірою можливості систем моніторингу визначаються рівнем їх хіміко-аналітичного забезпечення. І чим більше можливостей у хіміко-аналітичного забезпечення, тим більші, відповідно, і можливості у системи, її ефективність.

Досліджувані водні середовища за своїми фізико-хімічними властивостями відносяться до складних дисперсних світлорозсіювальних середовищ що складаються із малих розсіювальних часток розподілених в однорідному середовищі (воді). Застосування теорії розсіювання світла дає можливість розраховувати показники ослаблення, поглинання, матриці розсіювання часток з урахуванням їх показника заломлення. За допомогою цих оптичних характеристик можна визначити не тільки функцію розподілу часток за розмірами у дисперсному середовищі, а і їх форму, ступені анізотропії, комплексний показник заломлення. Особливо цікавим є розрахунок світлового поля в дисперсному середовищі з урахуванням поляризації за умов глибинного режиму [1, 2].

Гарантувати достатню точність визначення забруднювачів навколишнього середовища можна лише за умов оптимального вибору методик, їх уніфікації (яку розглядають як оцінку і зіставлення наявних методів визначення того чи іншого інгредієнта з метою відбору найпридатнішого для

виконання даного конкретного аналітичного завдання) і метрологічної атестації, яка повинна включати як отримання метрологічних характеристик методів в одній даній лабораторії, так і комплексну оцінку їх шляхом міжлабораторної апробації за участю найбільш компетентних лабораторій з централізованою обробкою даних за спеціально розробленими програмами.

Водне середовище – динамічний об'єкт, який швидко змінюється, контроль за станом якого неавтоматичними методами ускладнений і економічно не вигідний. В разі проведення аналізу більше 3—4 разів за добу економічно доцільно використовувати автоматизовані системи для контролю стану навколишнього середовища. У цих системах вартість інформації в 2...6 разів менша, ніж при використанні лабораторних методів [1].

Значною мірою можливістю систем моніторингу визначаються рівнем їх хіміко-аналітичного забезпечення. І чим більше можливостей у хіміко-аналітичного забезпечення, тим більші, відповідно, і можливості у системи, її ефективність.

На даний час відомі способи визначення приблизно 1500 забруднювальних речовин, а гранично допустимі концентрації існують практично на половину з них. У різних країнах загальне число і склад показників, включених у список найважливіших забруднювальних речовин, істотно відрізняються, тому що їхній вибір обґрунтований не чисто науковими міркуваннями, а традиціями, що склалися, економічними, технічними і іншими факторами. Всі виробничі стічні води відносяться до дисперсних середовищ, які містять різну кількість завислих (дисперсних часток) [1—3].

Показниками якості води прийняті: температура, рН, електропровідність, вміст розчиненого кисню, хлоридів, завислих речовин, органічного вуглецю, ХСК, БСК, загальна лужність.

Важливим екологічним показником є прозорість води. З нею пов'язана інтенсивність фотосинтезу, зокрема, глибина проникнення світла в товщу води. Прозорість тісно пов'язана з каламутністю, тобто наявністю зважених мінеральних часток. Для районів із приблизно однаковими гранулометричними складами зважених наносів виявляється тісна корелятивна залежність каламутності від прозорості, наприклад, для річок України (таблиця).

Порівняння каламутності і прозорості води

| | | | | | |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|
| Прозорість, см | 3,5 | 5,0 | 10 | 15 | 20 |
| Каламутність, мг/дм ³ | 270 | 185 | 92 | 61 | 45 |

Контроль водно-дисперсних об'єктів ускладнюється наявністю в них гідрофізичних полів температури, електричної провідності, солоності, щільності, тиску і швидкості течії, параметри яких постійно змінюються як із глибиною, так і в горизонтальній площині і мають яскраво виражений стохастичний характер. Тому вирішення завдань в галузі екології, гідрофізики (гідрохімії, гідробіології і т. д.) вимагає вищої точності контрольованих параметрів у проєктованих засобах контролю. Враховуючи, що досліджувані дисперсні системи відносяться до швидко змінних термодинамічних систем необхідно, щоб вимірювальна система сприймала кількісну вимірювальну інформацію безпосередньо від об'єкта контролю в режимі реального часу без попереднього перетворення аналізованої проби.

В процесі контролю оптичних параметрів неоднорідних середовищ є своя специфіка, породжена ефектами багатократного розсіювання світла речовиною дослідного об'єкта. При цьому розсіювання може виступати як інформативним, так і неінформативним параметром. Будучи інформативною величиною, розсіювання несе надзвичайно корисну інформацію про форму і структуру поверхні, про характер взаємодії випромінювання з речовиною, про індикатриси, тіла яскравості і т. п. З другого боку, при визначенні істинних показників поглинання дисипація енергії спотворює основну величину — шум, який потрібно уникнути, або обов'язково враховувати.

Характеристики сучасних засобів контролю водних середовищ

Найрозповсюдженішим є автоматизований контроль світлорозсіювальних характеристик водних середовищ. Він передбачає застосування методів аналізу, які засновані на безпосередньому вимірюванні оптичних параметрів аналізованої проби: на вимірюванні коефіцієнтів заломлення — рефрактометричний і інтерферометричний; поглинання — абсорбційно-оптичний; оптичної активності — поляризаційний і люмінесцентний; розсіяння — нефелометричний і турбідиметричний.

Всі відомі оптичні аналізатори мають певні обмеження у застосуванні при дослідженні світлорозсіювальних середовищ, а саме: неможливість урахування ефекту багаторазового розсіювання,

необхідність багатократного розведення проби перед вимірюванням, складність і тривалість процесу пробопідготовки, що призводить до незворотних змін (перетворення) проби, тривалість і складність контрольно-вимірювального процесу [4]. Вибірковість і наближеність застосування відомих методик пояснюється ще й тим, що для аналізу береться тільки невелика кількість дисперсного середовища (матеріалу) із окремого випадково взятого об'єму, що не завжди збігається з місцеположенням того елементарного об'єму, де починається процес зміни дисперсної фази в дисперсному середовищі, і що в свою чергу, не дає можливості відслідковувати динаміку змін дисперсного середовища.

На даний час для засобів та систем автоматизованого контролю, за допомогою яких проводяться дослідження процесів динамічних змін у світлорозсіювальних середовищах, однією із найважливіших характеристик є можливість проведення вимірювань в режимі реального часу.

Для контролювання світлорозсіювальних водно-дисперсних середовищ, найдоцільнішим є застосування автоматизованих засобів контролю, які є сукупністю вимірювальних, обчислювальних і реєструвальних засобів із заданими алгоритмами функціонування, що працюють під управлінням оператора-дослідника. Основними елементами таких систем є: вимірювальні канали з первинними вимірювальними перетворювачами, інформаційні канали зв'язку, спеціалізований обчислювальний пристрій або мікро-ЕОМ, пристрої реєстрації, зберігання і відображення інформації і т. п. [1, 4].

Гідрофізичні та екологічні системи автоматизованого контролю, що розробляються, відповідно до завдань досліджень комплектуються необхідними вимірювальними каналами, модулями, обчислювальними засобами і програмним забезпеченням, що забезпечує вимірювання, обробку, корекцію і реєстрацію експериментальних даних.

Структура проєктованих автоматизованих системи контролю залежить від кількості елементів, їхніх взаємозв'язків і місця розташування. Застосування мікропроцесорів розширює функціональні можливості системи, спрощує процедури градування, тестування, контролю працездатності і діагностування. Елементи системи різняться за формою подання інформації, швидкодією, конструкцією, логікою функціонування, що викликає істотні труднощі при її створенні.

У типових системах реєстрації параметрів водних середовищ інформація передається через одножильну, кабельно-тросову або волоконно-оптичну лінію зв'язку, це не дуже добре, оскільки первинний вимірювальний перетворювач повинен бути нерозривно пов'язаний із вимірювальним каналом, а це в свою чергу обмежує можливості зміни його місця розташування.

Серед зарубіжних гідрологічних оптичних комплексів для зондування вертикальної структури вод одним із кращих є СТД-зонд MARK III фірми Ніл Браун. Із вітчизняних зондів на рівні кращих зарубіжних зразків СТД-систем знаходиться гідролого-оптико-хімічний зондуєчий комплекс МГІ-4103, ряд автоматизованих вертикально-зондувальних систем типів «Метеор», «Дельфін», «Кондор», а також комплекс «Аргос». Один з кращих на сьогоднішній день, сучасний гідролого-оптичний комплекс МГІ-9201М.

Аналіз відомих зарубіжних розробок показує, що найбільше розповсюдження отримали автоаналізатори, що базуються на дискретному методі аналізу, касетного типу, їхні переваги: виключення взаємного забруднення зразків, швидкодія, охоплення ширшого кола хімічних аналізів та ін. Загальним для всіх аналітичних систем є модульна побудова, прагнення до простоти обслуговування і сумісності вихідних сигналів з серійними обчислювальними засобами. Відрізняються системи кількістю і складом контрольованих параметрів (більшість розрахована на вимірювання 6...10 показників). Застосовується також автоматичний відбір проби. Використовується два способи розташування блоку вимірювального приладу: безпосередньо в водоймищі або в спеціальному відсіку автоматичної станції, куди проба подається із заданої точки водоймища зануреним насосом. Більш розповсюджений другий спосіб.

Основними параметрами, що вимірюються екологічними комплексами, є температура, питома електрична провідність, тиск та швидкість, концентрація розчиненого кисню, сірководню, рН, концентрація нафтопродуктів, прозорість, концентрація нітратів, нітритів, важких металів. Вони є первинними тому, що визначаються прямими вимірюваннями. Значна частина характеристик визначається побічно, шляхом розрахунків за параметрами, що вимірюються безпосередньо, з використанням відомих функціональних залежностей. Серед вторинних параметрів найважливішими є солоність і густина водного середовища, глибина, швидкість розповсюджен-

ня звуку в воді, оптичний показник заломлення та ін. Частота відліків за вимірювальними каналами в сучасних зондах досягає 30...50 за секунду. Це дозволяє при застосовуванні швидкостях вертикального зондування 0,5...1,0 м/с забезпечувати просторове розділення елементів структури гідрофізичних полів до 1...2 см. Очевидно, що сучасні термосонди дозволяють добре оцінювати тонку структуру гідрофізичних полів аж до мікроструктури, що відіграє істотну роль для вивчення механізмів розшарованості і перемішування морських вод [1, 4].

Основною перешкодою застосування сучасних термосондів для контролю екологічних параметрів водних об'єктів суші є те, що ці об'єкти, по-перше, значно менші за своїми масштабами від морських акваторій і не є судноплавними, а по-друге — характер і просторово-часові масштаби розповсюдження гідрофізичних полів та процесів трансформації забруднення, які в них відбуваються, суттєво відрізняється від тих, що відбуваються у морському середовищі. Тому виникає потреба у розробці нових засобів автоматизованого контролю для екологічних досліджень водно-дисперсних систем порівняно невеликих водних об'єктів суші із обмеженим застосуванням плавзасобів.

Автоматизована система контролю водних середовищ

Запропонована автоматизована система контролю світлорозсіювальних характеристик водних середовищ зображена на рис. 1 складається з двох частин: вимірювальної та інформаційної. До складу вимірювальної частини входять радіобуї розташовані з урахуванням гідрологічних характеристик досліджуваного водного об'єкта та параметрів можливих джерел його забруднення. Інформаційна частина системи складається із ПЕОМ зі спеціальним програмним забезпеченням, що виконує функції сервера локальної мережі, на якій створюється і ведеться база даних експерименту, з необхідним набором периферійних приладів, що мають статус загальносистемних, – мережний принтер, мережний плотер, блок приладів експрес-обробки і відображення даних та ін.

До складу мережі можуть також входити ряд ПЕОМ з прикладним проблемно-орієнтованим про-

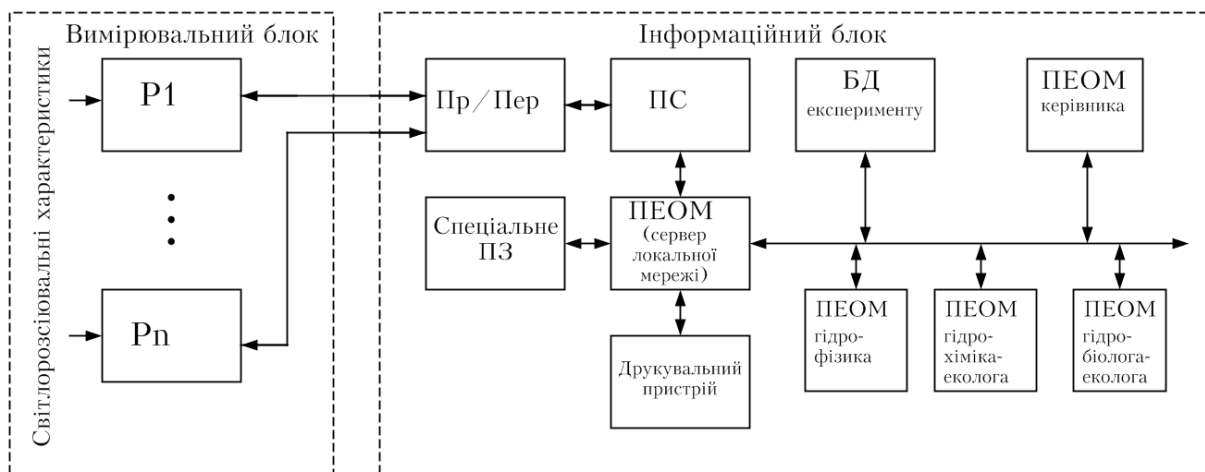


Рис. 1. Автоматизована система контролю світлорозсіювальних характеристик водних середовищ

грамним забезпеченням, що дозволяє підвищити ефективність роботи і розв'язати задачі оперативного планування та ефективного управління ходом наукових досліджень. Інформаційна частина системи — це комплекс програм, які дозволяють організувати банк даних, до складу якого входять дві бази даних: «Речовина» і «Експеримент». Перша з них призначена для запису узагальненої інформації, в якій відображені властивості досліджуваних суспензій, зокрема про потенційно токсичні речовини, що містяться в стічних водах і представляють собою типовий склад виробничих стічних вод. Друга — для запам'ятовування результатів експериментів, зокрема з виявлення негативного впливу речовини на якість води.

В існуючих системах зондування канали зв'язку між занурюваною зондовою підсистемою і бортовою обчислювальною підсистемою із периферійним обладнанням реєстрації і відображення вимірювальної інформації здійснюється через пристрій формування, передачі і прийому вимірювальної інформації, що складається з передавальної і приймальної частин, з'єднаних одножильною кабель-тросовою лінією, волоконно-оптичним каналом зв'язку або радіоканалом. Відомий також варіант використання телефонних ліній зв'язку що комутуються. У нашому випадку запропонована автоматизована система контролю забруднення із використанням радіоканалу, оскільки це дає

можливість досить легко і в широких межах змінювати місце розташування радіобуїв в залежності від задач контролю.

Кожен радіобуй, схема якого зображена на рис. 2, автоматично визначає показник розсіювання і передає по радіоканалу результати вимірювання із досліджуваного місця водного об'єкта (гідрологічного створу) до обчислювального центру збору, накопичення і обробки вимірювальної інформації.

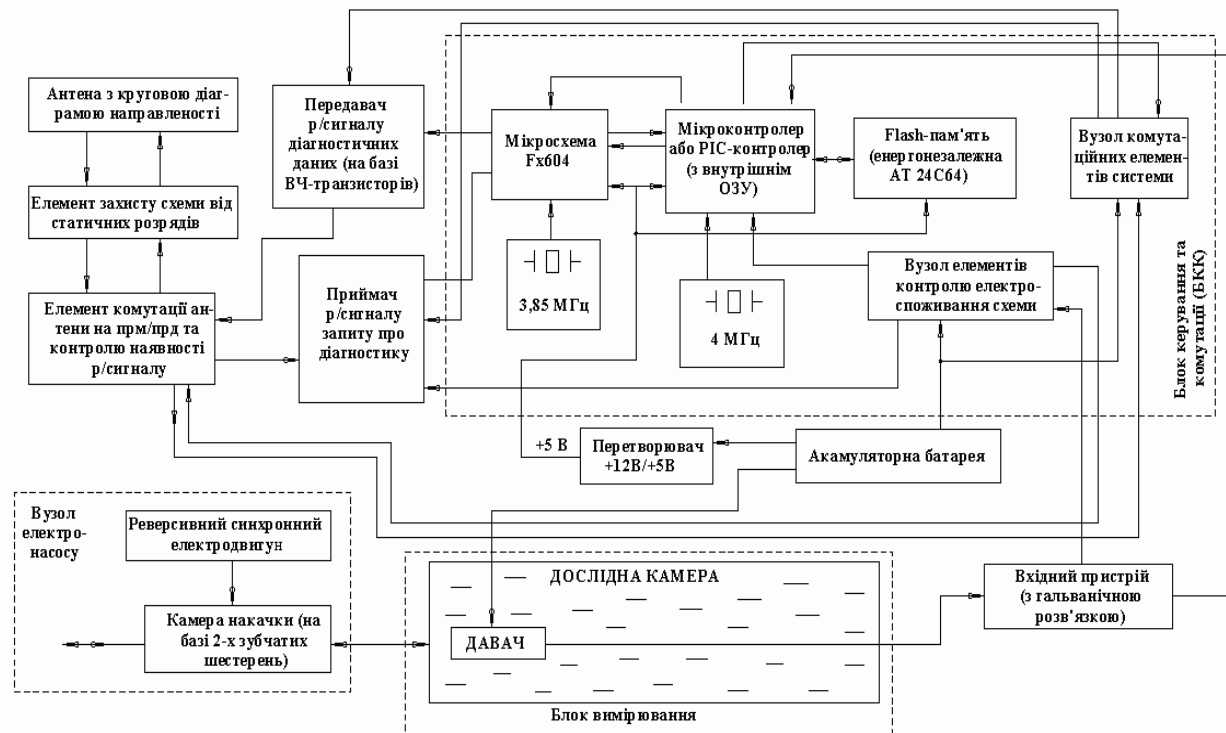


Рис. 2. Структурна схема радіобуя для дослідження екологічного стану водних об'єктів

Вузол вимірювання радіобуя складається із дослідної камери, яка наповнюється за допомогою вузла електронасоса досліджуваним водно-дисперсним середовищем, джерела випромінювання, довжина хвилі якого може змінюватися за допомогою касети світлофільтрів. До дослідної камери приєднаний автоматизований кінематичний блок переміщення зонда. Зонд містить призмовий оптичний первинний перетворювач, що з'єднаний із фотоелектронним помножувачем і блоком перетворення. Потім мікроконтролер передає виміряну інформацію в канал зв'язку. Сигнал, отриманий прийомо-передавачем із каналу зв'язку, через пристрій спряження надходить до сервера локальної мережі (ПЕОМ) із спеціальним програмним забезпеченням та периферійним обладнанням реєстрації і відображення вимірювальної інформації: принтером, плотером і т. п.

Всередині металопластикового герметичного радіобуя, що плаває, знаходиться електрична схема блока керування та комутації (БКК), радіотракт та вузол електроживлення, до якого приєднані вузли електронасоса та вимірювання, які занурені у воду на визначену глибину.

До корпусу радіобуя кріпиться також якорний трос для утримання його у заданому місці водоймища. Зовні на корпусі радіобуя закріплюється стрижнева антена розміром відповідно до несучої частоти радіотракта радіопередавача в ЧМ діапазоні, яка має кругову діаграму направленості.

Функціонально пристрій може працювати в 4-х режимах:

- черговий режим (режим очікування радіосигналу запити про діагностичні дані);
- режим обміну діагностичними даними;
- режим накопичення статистичних даних про проведений вимірювальний контроль забруднення водних ресурсів;
- режим аварійної сигналізації про перевищення гранично допустимого рівня забруднення водного середовища у контрольованій зоні.

Основою даного пристрою є блок керування та комутації (БКК), до складу якого входять: мікроконтролер або ПІС-контролер із внутрішньою ОЗУ; енергонезалежна Flash-пам'ять; мікросхема модему; вузол комутаційних елементів; вузол елементів контролю електроживлення схеми, 2 кварцові генератори.

Для запобігання попадання на схему пристрою високих напруг та струмів від статичних розрядів під час грози, між елементами захисту та елементом комутації антени передбачений елемент захисту від статистичних розрядів (на базі швидкодійних напівпровідникових елементів). Блок вимірювання складається з 2-х вузлів: вузла електронасоса та вузла вимірювання. Вузол електронасоса призначений для закачування та подальшої відкачки води, із дослідної камери блока вимірювання. Вузол електронасосу складається з реверсивного синхронного двигуна постійного струму, на валу якого закріплена одна з 2-х зубчастих шестерень камери накачки, інша кріпиться на стінках камери. Шестерні приводяться в рух електродвигуном і в першому випадку вони заштовхують воду до дослідної камери, а при зворотньому процесі — відкачки води — виштовхують воду із камери. В дослідній камері для вимірювання встановлені джерело випромінювання із заданою довжиною хвилі та германієвий фоторезистор. Загальна кількість контрольованих обчислювальним центром радіобуїв визначається потребами у зборі відповідної контрольовано-вимірювальної інформації про стан забруднення водного об'єкта. Оптимальна відстань від радіобуїв до обчислювального центра прийому і збору вимірювальної інформації визначається потужністю радіопередавача і АБ.

Радіобуй, схема якого зображена на рис. 2, працює таким чином: за командою, що надходить через канал зв'язку, пристрій керування вмикає електронасос, який закачує у дослідну камеру водно-дисперсне середовище. Коли камера заповнюється насос автоматично відключається. Після цього мікроконтролер за допомогою відповідної програми згідно встановлених початкових даних запускає автоматизований кінематичний блок переміщення зонда із призмовим оптичним первинним перетворювачем, що починає пересуватися всередині світлорозсіювального дисперсного середовища і вимірювати безперервний профіль тіла яскравості, який фіксується за допомогою фотоелектронного помножувача (ФЕП-60), що, в свою чергу, передає сигнал на блок перетворення фотоструму в частоту — 3, а далі в управляючий мікроконтролер, що формує цифровий сигнал і передає його до пристрою прийомо-передавача, який посиляє його у канал зв'язку, що з'єднує радіобуй із бортовою обчислювальною підсистемою. Прийнятий інформаційний цифровий сигнал із каналу зв'язку прийомо-передавачем ідентифікується, перетворюється в паралельний код і передається на пристрій спряження, а далі у пам'ять ПЕОМ, де обробляється відповідним програмним забезпеченням відповідно до заданих градуальних характеристик, та відображається на відеотерміналі у зручному для оператора вигляді, запам'ятовується та документується відповідним периферійним обладнанням. Після закінчення процесу вимірювання по команді пристрою управління насос відкачує водно-дисперсне середовище із дослідної камери.

Оптико-геометричні та енергетичні характеристики дослідної камери, зонда із призмовим оптичним первинним перетворювачем, оптичної схеми та джерела випромінювання підбираються із розрахунку, щоб всередині об'єму водно-дисперсного середовища реалізувались умови глибинного режиму, при якому форма тіл яскравості залежить тільки від властивостей досліджуваного середовища [4].

В спектروفотометричних приладах для дослідження водно-дисперсних середовищ важливою характеристикою при кількісному аналізі є температура, яка зазвичай визначає характер і швидкість термодинамічних процесів, що в них протікають, тому цей параметр також можна контролювати, наприклад, за допомогою цифрового термометра зануреного у зразок середовища.

Одержана оптична інформація про стан світлового поля всередині світлорозсіювального середовища заноситься до пам'яті комп'ютера, де обробляється і висвітлюється на екрані монітора у вигляді таблиць, аналітичних або графічних залежностей функцій яскравості $B_z = f(\theta)$; $B_0 = f(z)$; $B_z = f(c)$ тощо, де z — глибина шару середовища, на якій проводилися виміри, що відраховується від поверхні дисперсного середовища; θ — полярний кут обертання зонда відносно свого початкового положення в межах $0 \leq \theta \leq 180^\circ$; c — концентрація досліджуваного середовища.

Основним виразом для врахування інтерференційно-дифракційних ефектів, зумовлених суперпозицією дифрагованого і відбитого або пройденого світла, та визначення інтенсивності розсіяного світла, коли довжина хвилі λ сумірна з розміром часток, є десятикомпонентне рівняння Хен'ї—Грінштейна

$$I(\Theta) = \sum_{j=1}^{10} I_{j0} \frac{1 - g_j^2}{(1 + g_j^2 - 2g_j \cos \Theta)^{3/2}},$$

де g_j — коефіцієнт при поліномах Лежандра, який дає можливість дослідити трансформацію випромінювання всередині світлорозсіювального водного середовища та визначення його основних спектрофотометричних характеристик.

Подальша обробка вимірювальної інформації здійснюється за допомогою нейронної мережі, яка розпізнає форму індикатрис розсіювання, порівнює її з відомими модельними індикатрисами для певних типів забруднень, що занесені до електронного атласу, та робить висновки про можливий характер забруднення води.

Розроблена автоматизована система контролю, дослідження і локації дисперсних середовищ може бути використана у широкому спектральному діапазоні для реєстрації параметрів водних середовищ в гідрофізичних і екологічних дослідженнях, проведення екологічного моніторингу параметрів поверхневих вод, зокрема по вмісту завислих речовин. Система розрахована на використання сучасного інформаційного, програмного і математичного забезпечення, що дозволить розв'язувати в ній такі задачі: управління процесом вимірювання параметрів забруднення; реєстрація і видача інформації про рівень забруднення в центральну станцію обробки інформації; управління даними, контроль і аналіз роботи окремих вузлів вимірювальних приладів; калібровка вимірювальних каналів аналізатора; передача і введення даних від вимірювальних приладів; управління заданням режимів роботи вимірювальних приладів; видавання інформації споживачам за відповідними формами; управління збором інформації від вимірювальних приладів і оцінка стану водного об'єкта; виділення трендів тимчасових рядів; короткострокове прогнозування забруднення; виявлення тенденцій мінливості рівня забруднення; обчислення авто- і взаємкореляційних функцій тимчасових рядів; аналіз вимірних значень на «викид»; обчислення кроку дискретної роботи вимірювального приладу; контроль якості води в контрольований момент часу; обчислення ймовірності вірогідності прийнятого рішення; оцінка стану води за прогнозним значенням; пошук джерел забруднення.

Окрім традиційного програмного забезпечення дана система потребує додатково розробки спеціального програмного забезпечення, яке повинно для підвищення точності вимірювань забезпечувати корекцію результатів досліджень, що базується на сучасних структурно-алгоритмічних і системотехнічних методах підвищення точності. При цьому особлива увага повинна приділятися зменшенню динамічних похибок вимірювань, що є домінуючими при гідрофізичних дослідженнях.

Висновки

Отже, розроблена автоматизована система контролю світлорозсіювальних характеристик природних водно-дисперсних середовищ здійснює вимірювання яскравості під різними кутами спостереження за умов глибинного режиму, будує просторові індикатрис розсіювання, що дає можливість визначити екологічний стан водного об'єкта, характер протікання процесів забруднення, седиментації, самоочищення, коагуляції забруднених водно-дисперсних середовищ тощо і може використовуватися для екологічного моніторингу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зорі А. А., Коренев В. Д., Хламов М. Г. Методи, засоби, системи вимірювання і контролю параметрів водних середовищ. — Донецьк: РВА ДонДТУ, 2000. — 368 с.
2. Иванов А. П. Физические основы гидрооптики. — Мн.: Наука і тэхніка, 1975. — 503 с.
3. Hulst H. C. van de / Multiple Light Scattering. — Vol. 1, 2. — New York: Acad. Press, 1980. — 739 p.
4. Петрук В. Г. Спектрофотометрія світлорозсіювальних середовищ (теорія і практика оптичного вимірювального контролю). — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. — 207 с.

Петрук Василь Григорович — завідувач кафедри; **Васильківський Ігор Володимирович** — старший викладач; **Кватернюк Сергій Михайлович** — молодший науковий співробітник; **Турчик Павло Миколайович** — асистент.

Кафедра хімії та екологічної безпеки;

Лопатинська Надія Володимирівна — студентка Інституту електроенергетики, екології та електромеханіки.

Вінницький національний технічний університет