

# МОДЕЛЬ ВИБОРУ ДАТЧИКІВ МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ ВУЗЛІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДИ

Д.т.н. Ю.А. Петренко, д.т.н. Л.І Нефьодов, к.т.н. О.І. Богатов, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*У статті розроблено модель вибору датчиків мобільних сенсорних вузлів для моніторингу якості води за критеріями що задані в умовах нечіткої інформації.*

*В статтє розробтана модель вибору датчиков мобільных сенсорных узлов для мониторинга качества воды по заданным критериям в условиях нечеткой информации.*

*In the article the model of choice of sensors of mobile sensory knots is worked out for monitoring of quality of water on criteria in the conditions of unclear information.*

**Ключові слова:** модель вибору, моніторинг якості води, критерії вибору, мобільні сенсорні вузли, нечітка інформація.

## Вступ

Зростаючі темпи розвитку промисловості зумовлюють не лише збільшення обсягів використання води, а й її забруднення, тому контролювання стану водних об'єктів є необхідною складовою моніторингу довкілля.

Моніторинг поверхневих вод – система послідовних спостережень, збирання, оброблення даних про стан водних об'єктів, прогнозування їх змін та розробка науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень, які можуть позначитися на стані вод.

Основною метою системи спостережень і контролю за забрудненням водних об'єктів є отримання інформації про природну якість води та оцінка змін якості води внаслідок дії антропогенних факторів.

Моніторинг поверхневих вод вирішує такі завдання [1,2]:

- спостереження і контролювання рівня забруднення водного середовища за хімічними, фізичними та гідробіологічними показниками;
- вивчення динаміки вмісту забруднюючих речовин і виявлення умов, за яких відбуваються коливання рівня забруднення;
- дослідження закономірностей процесів самоочищення та накопичення забруднюючих речовин у донних відкладеннях;
- вивчення закономірностей виносу речовин через ґирлові створи річок у водойми;
- оцінювання та прогнозування стану якості води.

## Аналіз існуючих принципів та задач моніторингу якості води

Програми моніторингу водних середовищ відіграють вирішальну роль у різноманітних застосуваннях води. Чисті джерела води є важливими не тільки для водної екосистеми та природних середовищ існування, але і для успішного функціонування автотранспортних підприємств. Останні досягнення в області сенсорних технологій, робототехніки та Інтернету речей призвели до значного прогресу у застосуванні екологічного телемоніторингу. У галузі водного моніторингу дослідницькими інститутами та

екологічними відомствами були розроблені статичні станції або буї з можливостями проведення автоматизованих вимірів, реєстрації даних та бездротової передачі даних [1,4].

Незважаючи на те, що онлайн-збір даних може бути досягнутий завдяки використанню цих систем, вони були обмежені неточністю вимірювань та негнучкістю просторово-часової оцінки. Впродовж останнього десятиліття було досліджено сенсорні вузли, які здатні здійснювати рухомі вимірювання щоб підвищити гнучкість при зборі інформації в місцях, що представляють інтерес для великомасштабної території. Системи моніторингу за допомогою мобільних сенсорних вузлів (МСВ), безпілотних суден (БС), або автономних підводних транспортних засобів (АПТЗ) були розроблені для забезпечення просторово-часових вимірювань водних джерел, таких як басейни, озера, водосховища, річки та океани [4,5].

Впродовж останнього десятиліття багато платформ Інтернету речей були розроблені та впроваджені для моніторингу водного середовища. У відповідності до кількості одиниць вимірювання в системі платформи можна розділити на два основних типи: системи з єдиною станцією моніторингу та системи з кількома сенсорними вузлами в мережі моніторингу [4,5].

Єдина станція моніторингу, як правило, має достатньо обчислювальних та комунікаційних ресурсів та джерел живлення. Основним недоліком єдиної станції є її нездатність забезпечити просторово-часовий моніторинг високої роздільної здатності у великій географічній зоні. Моніторингова мережа з декількома вузлами датчиків, навпаки, полегшує процес моніторингу [4,5].

Відповідно до мобільності сенсорного блоку в системі платформи можна поділити на статичні та мобільні системи. Статичні платформи мають модулі відстеження, що встановлюються у визначених місцях, і забезпечують безперервні вимірювання на місці в реальному часі. Ці платформи довели свою ефективність у своєчасній підтримці екологічного моніторингу через можливість реєстрації даних, інформаційних процесів та бездротової передачі. Проте вони були досить ускладнені своєю неточністю та негнучкістю у просторовому вимірюванні для спостереження за областю. На противагу цьому, мобільні платформи, що складаються з мобільних сенсорних пристроїв, здатні керувати процесами вимірювання, переміщаючись по великій просторовій шкалі. Ці платформи забезпечують можливість збирання інформації в місцях, що цікавлять область досліджень. Проте кожен мобільний сенсорний пристрій часто має важливі ресурсні обмеження, такі як енергія накопичення, яка обмежує діапазон дослідження (з просторової точки зору) або кількість місць відбору зразків, які вона може виміряти до того як явища в контрольованому полі істотно зміняться (з часової точки зору).

**Мета статті та постановка задачі роботи**

У зв'язку з актуальністю метою роботи є підвищення оперативності та достовірності моніторингу якості води у водоймах за рахунок розробки інформаційної технології, що автоматизують процес моніторингу якості води. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробка структурної моделі інформаційної системи моніторингу якості води;
- обґрунтування критеріїв вибору підсистем та елементів інформаційної технології моніторингу якості води;
- розробка моделі синтезу системи інформаційної системи моніторингу якості води.

**Розробка структурної моделі системи моніторингу якості поверхневих вод**

Структурна модель системи моніторингу якості поверхневих вод дозволяє вирішити наступні задачі:

По-перше, знизити вартість компонентів у системі моніторингу, що дає економічно ефективне рішення для автоматичної оцінки якості води. Крім того, ця система моніторингу забезпечує швидке розгортання та легке обслуговування, що спрощує процедури первинного розміщення та подальшого обслуговування.

По-друге, декілька мобільних сенсорних вузлів допомагають спостерігати за площею у просторово-часовому масштабі порівняно зі статичними сенсорними станціями. Більш важливим є те, що запропонована структурна модель забезпечує ефективне планування обстежень шляхом розгляду енергетичних та часових обмежень.

По-третє, онлайн-індексування якості виконується шляхом інтеграції онлайн-даних з декількох параметрів для забезпечення всебічної оцінки якості досліджуваної зони.

В процесі реалізації системи моніторингу мобільні сенсорні вузли розгортають розподілений спосіб в області моніторингу. Завдання дослідження (відстеження місць та шляхів переміщення) для мобільних сенсорних вузлів створюються на віддаленому сервері (ВС) та передаються на МСВ за допомогою базової станції. Після чого МСВ стежать за прийнятими завданнями для збору даних на запланованих місцях відбору. Кожен МСВ складається з множини різномірних датчиків для вимірювання різних параметрів якості води. Після чого зібрані дані передаються на ВС через локальну бездротову мережу (наприклад, Wi-Fi або ZigBee). Результати моніторингу представлені в ВС через блок локальної оцінки у двох формах: вимірювання параметрів якості води в місцях відбору проб; онлайн індекс якості води. Перша форма представляє кількісні вимірювання в даній області. Друга форма представляє якісну оцінку поверхневих вод. Результати також передаються до віддаленого серверу (ВС) з центральним блоком оцінки (ЦБО), що працює на ньому.

Таким чином, результати моніторингу можуть бути доступними локально в ВС технічним фахівцям на місці або доступні користувачам дистанційно через інтернет. Архітектура та робоча схема запропонованої платформи Інтернету речей представлена на рис. 1. [4,5]

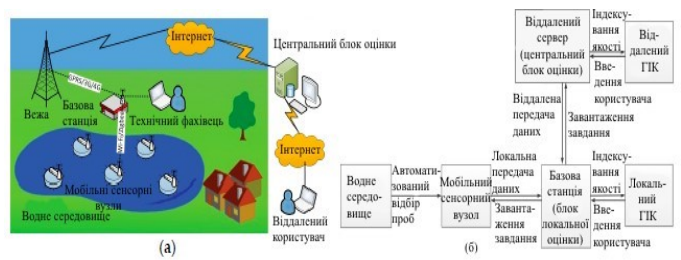


Рис. 1.

- (а) Архітектура платформи контролю якості води;
- (б) Діаграма робочого процесу платформи

Розроблена структура мобільних сенсорних вузлів (рис. 2).



Рис. 2. Структура мобільних сенсорних вузлів

Кожний вузол складається з п'яти датчиків, блоку управління, блоку обробки даних та двох модулів живлення. Для уникнення неточних вимірювань, викликаних навколишніми об'єктами (навколишні об'єкти можуть впливати на магнітне поле між електродами), всі п'ять датчиків ізольовані у ПВХ структурі. Всі електронні компоненти знаходяться всередині водонепроникного плавучого буя. Перетворення вихідних сигналів датчика (наприклад, напруга) у показання датчика, що показують реальні концентрації, виконується пристроєм з мікроконтролером. Обробка даних відбувається на бортовому процесорі, після чого передається на базову станцію за допомогою Wi-Fi або радіопередавача ZigBee. З метою забезпечення мобільності застосовується зовнішня структура з двома пропелерами. Контролер з GPS модулем використовується у якості автопілоту мобільних сенсорних вузлів. З метою уникнення втрати даних через втрату контейнера або збій зв'язку під час передачі даних, нещодавно зібрані дані зберігаються у локальному реєстраторі даних. Для живлення датчиків та безпроводної передачі, а також для зберігання накопиченої енергії з сонячної панелі акумулятор не використовується. На додаток, літій-полімерний акумулятор використовується для живлення автопілоту, електронних регуляторів швидкості та пропелерів.

### Обґрунтування критеріїв вибору елементів інформаційної технології моніторингу якості води

Оскільки не існує єдиного показника, що характеризує би весь комплекс характеристик води, якість води оцінюють на основі системи показників. Показники якості води поділяються на фізичні, бактеріологічні, гідробіологічні й хімічні. Іншою формою класифікації показників якості води є їхній поділ на загальні та специфічні. До загальних відносять показники, характерні для будь-яких водних об'єктів. Наявність у воді специфічних показників обумовлено місцевими природними умовами, а також особливостями антропогенного впливу на водний об'єкт [6].

До основних показників якості води належать [1-3, 6,7]:

1. *Температура води.* У водних об'єктах температура є результатом одночасної дії сонячної радіації, теплообміну з атмосферою, переносу тепла течіями, перемішування водних мас і надходження підігрітих вод із зовнішніх джерел. Температура впливає практично на всі процеси, від яких залежать склад і властивості води. Температура води вимірюється в градусах Цельсія (°C);

2. *Розчинений кисень.* Основними джерелами надходження кисню у водні об'єкти є газообмін з атмосферою (атмосферна реаерація), фотосинтез, а також дощові й талі води, які, як правило, перенасичені киснем. Окисні реакції є основними джерелами енергії для більшості гідробіонтів. Основними споживачами розчиненого кисню є процеси дихання гідробіонтів і окиснювання органічних речовин. Низький вміст розчиненого кисню (анаеробні умови) позначається на всьому комплексі біохімічних і екологічних процесів у водному об'єкті;

3. *Водневий показник (рН).* У природних водах концентрація іонів водню залежить, головним чином, від співвідношення концентрацій вугільної кислоти і її іонів. Джерелами вмісту іонів водню у воді є також гумінові кислоти, наявні в кислих ґрунтах і, особливо, в болотних водах, гідроліз солей важких металів. Від рН залежить розвиток водяних рослин, характер протікання продукційних процесів;

4. *Електропровідність.* Електропровідність вод обумовлена вмістом в них електролітів. Величина електропровідності знаходиться в складній залежності від концентрації розчину, валентності іонів і температури. У зв'язку з цим визначення електропровідності дає можливість судити про загальну мінералізацію води і здійснювати систематичний контроль за її коливаннями. Електропровідність води залежить від її мінералізації. Прісні води погано проводять або майже не проводять електричний струм.

5. *Окисно-відновний потенціал (ОВП).* Це міра окиснювальної або відновлювальної здатності середовища, яка віддзеркалює здатність приєднання або віддачі електронів в окиснювально-відновних реакціях. Значення ОВП є однією з найважливіших характеристик природних водоймів, що визначає геохімічний розподіл елементів зі змінною валентністю, форми їх міграцій, характеризує рівень життя водойми та різноманітність форм її мешканців. Оптимальне значення окисно-відновного потенціалу для водойм є 150-250 мВ. Проте для поверхневих вод значення окисно-відновного

потенціалу знаходиться у межах +100-150 мВ, що зумовлено безпосереднім контактом із киснем повітря та вмістом елементів у вищій валентності. На певному рівні водойми окисна та віднова фаза знаходяться у рівномірному співвідношенні, яке характеризується значеннями окисно-відновного потенціалу від 0 до +100 мВ. Вода зі значенням окисно-відновного потенціалу > 300 є непридатною для живих організмів і вважається «мертвою». Така вода виявляє сильну знезаражувальну дію (прикладом є вживання води під час багаторазового кип'ятіння).

Для людини корисною є вода, що має ОВП наближений до внутрішнього середовища організму, який у нормі знаходиться в межах від +100 до -200 мВ.

6. *Смак і присмак.* Смакові якості води зумовлені присутністю речовин природного походження або речовин, які потрапляють у воду в результаті забруднення її стоками. Підземні води, що містять тільки неорганічні розчинені речовини, мають специфічний смак, який викликаний наявністю заліза, марганцю, натрію, калію, хлоридів та інших елементів.

7. *Кольоровість* води обумовлюється вмістом органічних пофарбованих з'єднань. Речовини, що визначають фарбування води, надходять у воду внаслідок вивітрювання гірських порід, внутрішньодоймових продукційних процесів, з підземних стоків, з антропогенних джерел. Висока кольоровість знижує органолептичні властивості води, зменшує вміст розчиненого кисню. Кольоровість вимірюється в градусах.

8. *Мутність води.* Мутність води обумовлена вмістом у воді нерозчинних і колоїдних речовин неорганічного та органічного походження. Причиною мутності є мулісті частки, кремнієва кислота, гідроокиси заліза та алюмінію, органічні колоїди, мікроорганізми та планктон.

Вимірювання таких показників як температура води, зміст розчиненого кисню, водневий показник, електропровідність та окисно-відновний потенціал буде проводитися за допомогою датчиків встановлених на мобільних сенсорних вузлах. В той час як визначення таких параметрів як смак і присмак, кольоровість та мутність води буде проводитися методом нечіткої оцінки.

Моніторинг різних параметрів води здійснюється за допомогою автоматизованого вимірювання. Такі параметри включають в себе швидкість потоку, температуру, повітряний тиск, значення рН, розчинений кисень, електропровідність, окисно-відновний потенціал, азот, фосфат, органічні речовини, мікроорганізми та інші. Вибір параметрів якості води базується на специфіці кінцевого використання води та цілях моніторингу.

У вище приведеній системі моніторингу якості поверхневих вод впроваджено п'ять датчиків в кожному мобільному сенсорному вузлі для вимірювання п'ять характерних параметрів. Дані датчики зазначені нижче.

1. Температурний датчик – вимірює температуру води за допомогою терморезистивного зонду, електричний опір якого підвищується за рахунок теплоти, що передається з джерела води. Температура впливає на багато інших параметрів. Таким чином, під час калібрування датчика для цих параметрів необхідною є компенсація температури.

2. Датчик значення рН – вимірює вихідну напругу електроду через активність іонів водню у воді. Після цього значення напруги можна перевести у значення рН у відповідності до концентрації іонів водню.

3. Датчик розчиненого кисню – вимірює вихідну напругу датчика за допомогою аноду та катоду. Дана напруга пропорційна концентрації розчиненого кисню у воді.

4. Датчик електропровідності – вимірює опір двохелектродної схеми датчика. Електропровідність води пропорційна провідності (інверсія опору) датчика.

5. Датчик окисно-відновного потенціалу – вимірює вихідну напругу між вимірювачем та еталонним електродом, що вказує здатність водою приймати електрони.

### Моделі і методи прийняття рішення при синтезі автоматизованої системи моніторингу якості води

В даний час можна вказати на велику кількість предметних галузей і практичних ситуацій, коли вибір рішення може і повинен ґрунтуватися на теоріях оптимізації, вибору і прийняття рішень, які можуть бути використані, в тому числі і при синтезі автоматизованої системи моніторингу якості води [7,8].

Оптимальний вибір рішення передбачає якусь кількісну оцінку його якості, що враховує деякі критерії. Іншими термінами, використовуваними для критеріїв, є локальні критерії, показники, показники якості, цільові функції, чинники і т.п. Завдання оцінки якості відноситься до багатокритеріальних завдань оптимізації.

Відомо множина підходів до вирішення таких завдань[9]:

- застосування теорії корисності для багатокритеріального вибору альтернатив з дискретної множини і в умовах ризику та невизначеності;

- зведення багатокритеріальної задачі до задачі скалярної оптимізації за допомогою деякої згортки векторного критерію;

- розробка людино-машинних процедур розв'язання багатокритеріальних задач оптимізації в інтерактивному режимі та інше.

Одне з найважливіших припущень теорії прийняття рішень полягає в тому, що не існує найкращого в будь-якому абсолютному значенні рішення. Рішення може вважатися найкращим лише для даної особи, що приймає рішення (ОПР), відповідно до поставленої мети. Для того, щоб допомогти особі, що приймає рішення, розібратися у своєму ставленні до можливих наслідків вибору, щоб у важкій і часто унікальній ситуації виділити основні аспекти впливу обраних рішень на можливі наслідки, будується багатокритеріальна модель.

Використання моделі дозволяє провести об'єктивний аналіз і порівняти альтернативні варіанти з урахуванням різних аспектів їх наслідків, а також відносини особи, яка приймає рішення, до цих наслідків. Такий модельний підхід дозволяє особі, що приймає рішення:

- виявляти і уточнювати його переваги;
- вибирати рішення, узгоджені з цими перевагами, уникаючи логічних помилок в довгих і складних ланцюгах міркувань.

Багатокритеріальна модель задачі прийняття рішень може бути представлена в наступному вигляді

$$\langle P, X, K, S, f, \Pi, Q \rangle, \quad (1)$$

де  $P$  – постановка (тип) задачі;

$X$  – множина рішень;

$K$  – множина критеріїв;

$S$  – множина шкал критеріїв;

$f$  – відображення множини допустимих рішень у множину векторних оцінок;

$\Pi$  – система вподобань особи, що приймає рішення;

$Q$  – вирішальне правило.

Кінцевою метою вирішення загального завдання прийняття рішень є вибір з допустимої множини рішень єдине найкраще  $x^0$ , тобто екстремальне за обраними критеріями рішення

$$x^0 = \operatorname{argextr} \{ p_i [k_i(x)] \}; i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

У якості загальної робочої гіпотези прийнята широко поширена теорія корисності, в рамках якої синтезовано математичні моделі багатокритеріального оцінювання і оптимізації виду

$$P(x) = F \{ J(a_i), p_i [k_i(x)] \}, i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де  $p_i [k_i(x)], i = \overline{1, n}$  – функція корисності  $i$ -го окремого критерію, досить повно і об'єктивно характеризує альтернативу;

$J(a_i)$  – суб'єктивна інформація про перевагу для ОПР окремих критеріїв.

У моделі багатокритеріального оцінювання (3) в якості вхідних впливів виступають окремі критерії. Тим чи іншим шляхом вони приведені до виду, що дозволяє отримати їх кількісні значення, а отже виміряти вхідні впливи. Але в силу того, що в даному випадку в якості досліджуваної системи виступає людина (ОПР), безпосереднє кількісне вимірювання вихідної дії системи (значення) узагальненої корисності оцінюваної альтернативи) найчастіше неможливо. Інформацію можна отримати тільки опосередковано, як особиста думка ОПР. При цьому в переважній більшості випадків інформація витягується не в кількісному, а в якісному вигляді, тобто у вигляді вказівки на кращу альтернативу або у вигляді відношення порядку на множині альтернатив. Форма і кількість одержуваної інформації залежать від глибини інтроспективного аналізу, тобто від глибини осмислення експертом ситуації оцінювання і вибору альтернатив.

Так як в цьому випадку всі окремі критерії представлені в ізоморфній стандартній формі, можливі ситуації прийняття рішень будуть відрізнятися тільки ступенем інформованості ОПР про відносну важливість окремих критеріїв і формою подання цієї інформації. При цьому будемо вважати, що зазначена інформація може бути представлена в трьох видах:

- детермінований;

- імовірнісний;

- у вигляді розмитої множини.

Для вибору необхідних датчиків моніторингу якості води було використано математичний метод прийняття рішень в умовах нечіткої інформації.

Деякі з наведених показників визначаються якісно, тому їх слід задати лінгвістичними змінними і надалі використовувати апарат нечіткої математики. Математична модель має наступний вигляд.

Розглянемо задачу вибору альтернативи з даного їх множини.

$$Sc = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}. \quad (4)$$

Якщо цей вибір здійснюється на основі ступеня відповідності альтернатив деякої сукупності вимог, що визначаються системою  $m$  різних критеріїв.  $k_1, k_2, \dots, k_m$

В такому випадку кожному критерію може бути поставлено у відповідність нечітка множина.

$$Sc_i = \{\mu_{k_i}(S_1), \mu_{k_i}(S_2), \dots, \mu_{k_i}(S_n)\}. \quad (5)$$

Тут величина  $\mu_{k_i}(S_j) \in [0,1]$  і являє собою оцінку альтернативи  $S_j$  за критерієм  $k_i$ . Іншими словами, вона виступає характеристикою ступеня її відповідності вимогу, що визначається аналізованим критерієм  $k_i$ .

Видається цілком природним, що рішенням вихідної задачі буде така альтернатива  $S$ , яка найбільшою мірою задовольняє вимогам всієї сукупності критеріїв.

Звідси випливає, що вирішальне правило  $D$  вибору найкращої альтернативи може бути представлено як знаходження перетину відповідних нечітких множин:

$$D = M_{k_1} \cap M_{k_2} \cap \dots \cap M_{k_m}. \quad (6)$$

Відповідно до визначення операції перетину нечітких множин функція приналежності шуканого рішення знаходиться як

$$\mu_{Sc_D}(S_j) = \min_{i=1, n} (\mu_{Sc_i}(S_j)), j = \overline{1, m}. \quad (7)$$

Таким чином, в якості найкращої повинна бути обрана та з альтернатив,  $S_j^*$  для якої значення функції приналежності  $\mu_d(S_j)$  виявиться максимальним. Тобто

$$\mu_d(S_j^*) = \max_{j=1, m} (\mu_{Sc_D}(S_j)), j = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Саме ця альтернатива і є рішенням вихідної задачі, оскільки вона найбільшою мірою задовольняє вимогам всієї сукупності розглянутих критеріїв.

Відзначимо, що в розглянутій задачі всі критерії  $k_i$  за замовчуванням передбачалися рівноправними, тобто мають однакову важливість. Однак у практиці прийняття рішень нерідко зустрічаються ситуації, коли потрібно вирішувати багатокритеріальну оптимізаційну задачу в умовах різної важливості критеріїв досягнення максимуму цільової функцією.

У подібних випадках кожним критерієм  $k_i$ , доцільно поставити у відповідність деякий ваговий коефіцієнт  $\lambda \geq 0$ , причому

$$i = \overline{1, m} \quad \text{і} \quad \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1. \quad (9)$$

Природно, чим більшою є важливість критерію, тим більше значення приписується його ваговому коефіцієнту. З урахуванням цього вирішальне правило  $R$  вибору найкращої альтернативи в умовах

багатокритеріальної задачі з нерівнозначними критеріями  $k_i$ , які мають вагові коефіцієнти  $\lambda_i$ , використовує процедуру знаходження перетину нечітких множин

$$D = Sc_{k_1}^{\lambda_1} \cap Sc_{k_2}^{\lambda_2} \cap \dots \cap Sc_{k_m}^{\lambda_m}. \quad (10)$$

Значення самих вагових коефіцієнтів визначаються на основі стандартної процедури попарного порівняння критеріїв.

#### Висновки.

У ході виконання роботи були отримані наступні результати:

- проведено аналіз технології моніторингу якості води у водоймах;
- проведено аналіз існуючих засобів автоматизації моніторингу якості води у водоймах;
- обґрунтовано існуючі методи прийняття рішень в різноманітних умовах визначення інформації;
- розроблено модель прийняття рішення в умовах нечіткої інформації для вибору датчиків для мобільних сенсорних вузлів моніторингу якості води у водоймах.

Таким чином була досягнута мета роботи – підвищення ефективності моніторингу якості води у водоймах за рахунок розробки структурного синтезу інформаційної технології, що автоматизує цей процес.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Алексеев, Л.С. Контроль качества воды. Учебник / Л.С. Алексеев. - М.: ИНФРА-М, 2017. - 536 с.
2. Белан Ф.И. Водоподготовка / Ф.И. Белан – М.: Госэнергоиздат, 2013. – 255 с.
3. Гурвич С.М. Водоподготовка / С.М. Гурвич – М.: Государственное энергетическое издательство, 2014. – 240 с.
4. Nodes” [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5579500/>.
5. Матеріали інформаційного сайту «Научная электронная библиотека» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.monographies.ru> “Automated Water Quality Survey and Evaluation Using an IoT Platform with Mobile Sensor
6. Al-Dara Ye. N. AUTOMATED WATER QUALITY MONITORING SYSTEM [Техн] / Ye.N. Al-Dara, Yu.A. Petrenko, L.A.Khorunzhaya // Збірник наукових праць студентів, аспірантів та молодих науковців. – Харків: ХНАДУ, 2019 – Вип. 11. Частина 2. – С. 114-115.
7. Петренко Ю.А. Комп’ютерна технологія автоматизації управління системою підготовки води на АТП [Текст] / Ю.А.Петренко, А.І Михайлова // Матеріали Міжнародної молодіжно науково-технічної конференції «Молода наука – роботизація і нано-технології сучасного машинобудування»: Збірник наукових праць за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф. – Краматорськ: ДДМА, 2019. – С. 147-151.
8. Петренко Ю.А. Комп’ютерна технологія моніторингу якості води на технічному водіймищі автотранспортного підприємства[Текст] / Ю.А.Петренко, А.І.Михайлова // Збірник наукових праць за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції. – Харків, ХНАДУ, 2019. – 282 с.
9. Нефёдов Л.И. Методологические основы синтеза офисов по управлению программами и проектами: монография / Л.И. Нефёдов, Ю.А. Петренко, М.В. Шевченко, А.В. Биньковская. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 296 с.