

ТЕХНОЛОГІЯ ТА МОДЕЛЬ КОМПОНУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МОБІЛЬНОГО СЕНСОРНОГО ВУЗЛА МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

Петренко Ю. А., Михайлова А. І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Проведено дослідження стану поверхневих вод на території України. Здійснивши аналіз наявних публікацій, визначено мету роботи: аналітичне дослідження, результат якого дозволить спроектувати систему моніторингу якості води для отримання інформації щодо її природної якості, та оцінка змін якості води внаслідок дії антропогенних чинників.*

***Ключові слова:** мобільний сенсорний вузол, компоновання елементів, моніторинг якості води.*

Вступ

Темпи зростання розвитку промисловості зумовлюють не лише збільшення об'ємів використання води, а й її забруднення, тому контролювання стану водних об'єктів є необхідною складовою моніторингу довкілля [1].

Моніторинг поверхневих вод – система послідовних спостережень, збирання, оброблення даних про стан водних об'єктів, прогнозування їх змін та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень, які можуть позначитися на стані вод [2].

Основною метою налагодження системи моніторингу за забрудненням водних об'єктів є отримання інформації про природну якість та оцінка змін якості води внаслідок дії антропогенних чинників.

Аналіз публікацій

Наявність документів не замінює та не виключає повсякденного моніторингу якості води. Для контролю її якості необхідно періодично здійснювати перевірку поверхневих вод, зокрема оцінку водного середовища за хімічними, фізичними та гідробіологічними показниками, а також перевірку динаміки вмісту забруднювальних речовин і виявлення умов, за яких відбуваються коливання рівня забруднення. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити завдання синтезу мобільного сенсорного вузла. Така система є специфічною інфраструктурою, що забезпечує ефективну оцінку якості поверхневих вод у високоякісному просторово-часовому режимі [3].

У всьому світі визнано стратегічним значення водних ресурсів у збереженні природного середовища і в соціально-економічному розвитку будь-якої країни. На сьогодні актуальним є питання якості природних вод, оскільки їх забруднення призводить до дефіциту води, навіть в регіонах, що достатньою

мірою забезпечені водними ресурсами. Основною метою налагодження системи спостережень і контролю за забрудненням водних об'єктів є отримання інформації про природну якість води та оцінка змін якості води внаслідок дії антропогенних чинників [4].

Основа системи моніторингу якості води – платформа інтернету речей, що дозволяє користуватися єдиними програмними засобами, єдиними базами даних і знань, вести єдиний облік, контроль, здійснювати моніторинг водного середовища. Переваги мобільного сенсорного вузла пов'язані з можливістю організації ефективної розподіленої системи моніторингу якості водного середовища.

Таким чином, актуальність досліджень полягає у вирішенні науково-прикладного завдання розроблення моделей і методів синтезу мобільного сенсорного вузла моніторингу стану поверхневих вод [5].

Мета і постановка завдання

Будь-який проект має певні фази свого розвитку. Стадії життєвого циклу проекту можуть відрізнятися залежно від сфери діяльності та прийнятої системи організації робіт. Однак у кожного проекту можна виділити початкову стадію (вибір мети, її визначення, діагноз проблеми, генерація вирішення, вибір ефективного вирішення і розрахунок техніко-економічних показників), стадію підготовки і реалізації проекту, а також стадію завершення робіт з проектування. Поняття життєвого циклу проекту є одним з найважливіших, оскільки саме поточна стадія визначає завдання і види діяльності інженера, методики, що необхідно використати, та інструментальні засоби.

Для реалізації моніторингу якості води розроблена технологія синтезу мобільного

сенсорного вузла моніторингу стану поверхневих вод (рис. 1).

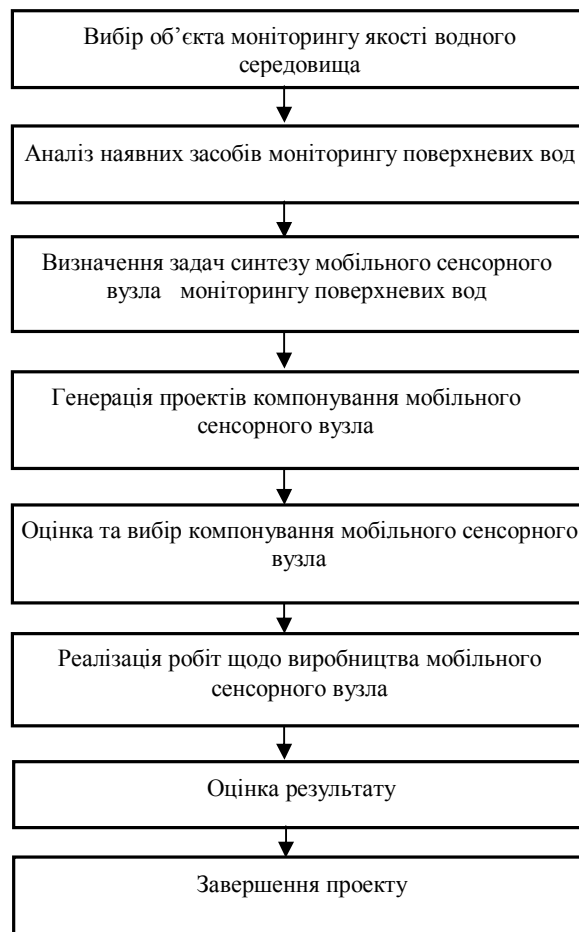


Рис. 1. Технологія синтезу мобільного сенсорного вузла моніторингу стану поверхневих вод

Для вирішення перерахованих завдань необхідно створити мобільний сенсорний вузол, що дозволить підвищити ефективність моніторингу якості води в найкоротший термін часу, виявити і усунути характер забруднення поверхневих вод, проаналізувати стан водного середовища, а поліпшення умов праці дозволить значно скоротити кількість помилок і своєчасно оброблювати інформацію та здійснювати планування проекту.

Ергономічне розміщення (компонування) обладнання сприяє підвищенню продуктивності праці і скороченню часу, що витрачається на прийняття рішення.

Наявні методи і способи не враховують специфіку мобільного сенсорного вузла і не відповідають тим вимогам, що висувуються до створення таких об'єктів [6].

Метою вирішення цього завдання є підвищення ефективності компонування облад-

нання системи моніторингу якості водного середовища.

Результати дослідження

Для досягнення цієї мети в роботі вирішуються такі завдання:

1) системний аналіз і структуризація процесів автоматизованого компонування обладнання на основі розгляду наявних методів і засобів проектування таких типів об'єктів;

2) визначення завдання визначення оптимального компонування обладнання в основних функціональних зонах мобільного сенсорного вузла моніторингу стану поверхневих вод;

3) розроблення структури технології синтезу компонування мобільного сенсорного вузла моніторингу стану поверхневих вод;

4) розроблення моделей і технологій вирішення окремих завдань компонування обладнання в кожній з основних зон мобільного сенсорного вузла моніторингу стану поверхневих вод:

- оцінка загального простору мобільного сенсорного вузла та вибір основних зон для компонування обладнання;

- оцінка та визначення оптимального компонування обладнання в кожній зоні;

- розроблення та впровадження комп'ютерної технології компонування обладнання на основі багатокритеріальної оцінки та аналізу;

- реалізація розроблених моделей і впровадження отриманих результатів.

Розглянемо визначення цього завдання з його декомпозицією на приватні: якщо компонування обладнання в обраній зоні задане нечітко (наприклад, якщо розташування обмежене габаритними розмірами), можна оптимально розмістити устаткування. Для оптимального розміщення блоків і спрощення завдання оптимізації необхідно зробити декомпозицію всього простору мобільного сенсорного вузла на основні зони, де буде розміщено основне обладнання. У цьому випадку ми отримаємо три основні зони, в яких буде розміщено основні блоки (рис. 2).

Перша зона – зона живлення, в ній розміщено устаткування, що необхідне для автономної роботи мобільного сенсорного вузла.

Друга зона – зона моніторингу, в ній розміщено устаткування, необхідне для отримання інформації про стан водного середовища.

Третя зона – зона управління та оброблення даних, в цій зоні розміщується устаткування, необхідне для керування платформою, а також обладнання, що дозволяє

отримувати та обробляти необхідну інформацію.

Завдання визначення основних зон вирішується з урахуванням конфігурації облад-

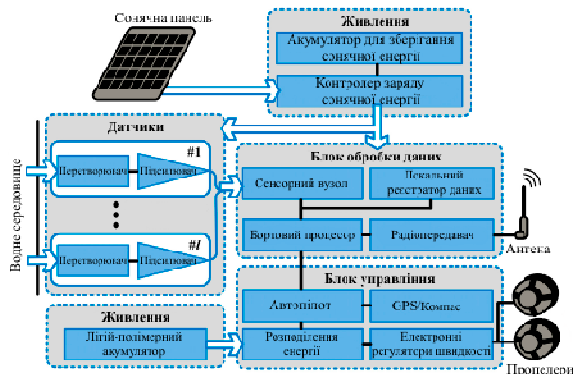


Рис. 2. Структура основних функціональних зон мобільного сенсорного вузла

Розміщення основних зон визначається специфікою передбачуваної роботи. Синтезовані мобільні платформи мають прямокутну форму або легко розбиваються на прямокутники, що дозволяє виділити основні зони відповідно до загальної конфігурації і забезпечити необхідний вільний простір навколо обраного устаткування та обладнання стенда [7].

Наведемо загальне визначення завдання.

Маючи набір програмно-апаратного, комп'ютерного та спеціального обладнання для кожної зони, необхідно його розмістити, ввівши такі позначення:

- обсяг і площа мобільного сенсорного вузла W, S ;
- структура основних зон, їх конфігурація та геометричні параметри;

– для кожної основної зони ($Z = \overline{1,3}$) комплект обладнання $O_z = \{O_{zb}\}$, $b = 1, b^z$, закріпленого за зоною, що характеризується формою, площею, що займає, об'ємом та геометричними розмірами комплекту.

Потрібно розмістити в кожній зоні $Z = \overline{1,3}$ необхідне обладнання, визначивши його розташування $X_{zb}(X_{zb}^1, X_{zb}^2, X_{zb}^3)$ за такими окремими критеріями:

- ергономічність роботи зі скомпонованим обладнанням у кожній зоні;
- стійкість компонування обладнання в зонах відповідно до центра ваги мобільного сенсорного вузла.

Відомі обмеження щодо:

- внутрішнього об'єму мобільного сенсорного вузла;

нання, що розміщується в обмеженому обсязі мобільного сенсорного вузла.

- площі та об'єму кожної зони (зони живлення, зони моніторингу, зони управління та оброблення даних);
- приналежності обладнання, що використовується, конкретній зоні (функціональній, допоміжній, зоні, що забезпечує);
- взаємонеperетинання комплектів обладнання, що розміщуються.

Математична модель розміщення основних блоків для мобільного сенсорного вузла

Часткові критерії [7]:

Максимальна ергономічність роботи зі скомпонованим обладнанням у кожній зоні досягається за допомогою мінімізації суми відстані від базових точок обладнання до точки ефективного розміщення обладнання:

$$\min \sum_{b=1}^{b^z} L_{zb} \left[\sum_{i=1}^3 (X_{zo}^i - X_{zb}^i)^2 \right], \quad z = \overline{1,3}, \quad (1)$$

де X_{zo}^i – координати точки найбільш ефективного розміщення обладнання в z -й зоні з точки зору ергономіки (візуального контролю і доступності для зони забезпечення); X_{zb}^i – ($i = \overline{1,3}$) i -ті координати базової точки b -го обладнання ($b = 1, b^z$) в z -й ($z = \overline{1,3}$) зоні; L_{zb} – ваговий коефіцієнт b -го обладнання з точки зору близькості до точки ефективного розміщення в z -й зоні.

Максимальна стійкість обладнання в основних зонах щодо проекції точки стійкості центра ваги мобільного сенсорного вузла на її дно за допомогою мінімізації відхилення реального центра ваги мобільного сенсорного вузла від розрахункової точки стійкого центра ваги сенсорного вузла

$$\min \left[\sum_{i=1}^3 (X^i - X_{шц}^i)^2 \right]^{1/2}, \quad (2)$$

де $X_{шц}^i$ – i -та ($i = \overline{1,3}$) координата проекції точки стійкого центра ваги сенсорного вузла на його днище; X^i – i -та ($i = \overline{1,3}$) реального центра ваги сенсорного вузла, що визначається за формулою

$$X^i = \frac{\sum_{b=1}^i V_b X_b^i}{\sum_{b=1}^i V_b}, \quad (3)$$

де V_b – вага b -го обладнання; X_b^i – i -та координата центра ваги b -го обладнання.

Обмеження:

– блоки, що розміщуються, повинні належати своїй зоні Ω_z , ($z = 1, 3$):

$$O_{zb}(X_{zb}^1, X_{zb}^2, X_{zb}^3) \subset \Omega_z; \quad (4)$$

– має виконуватися умова неперетинання комплектів, що розміщуються:

$$O_{zb}(X_{zb}^1, X_{zb}^2, X_{zb}^3) \cap O_{zd}(X_{zd}^1, X_{zd}^2, X_{zd}^3) = \emptyset, \quad (5)$$

де \emptyset – нульова множина.

Розроблена узагальнена математична модель належить до класу багатокритеріальних завдань розміщення геометричних об'єктів довільної форми в областях прямокутної геометричної форми.

Якщо конфігурація внутрішнього об'єму стенда така, що зона, яка виділяється, має довільну форму з кусочно-лінійними межами, а об'єкти, що розміщуються, прямокутної форми або досить точно апроксимуються прямокутниками, то можна вирішити завдання розміщення геометричних об'єктів прямокутної форми в областях довільної геометричної форми [8].

Реалізація цієї моделі пов'язана з високою складністю і розмірністю, тому пропонується її декомпозиція на часткові задачі компонування обладнання за основними зонами. Послідовність їх розв'язання визначається ієрархією основних зон.

Спочатку компонується зона живлення шляхом розміщення спеціалізованого обладнання (зона 2). Зона 2 заповнюється однорядно обраним комплектом спеціалізованого обладнання на вертикальній смузї кінцевої довжини. Ширина і глибина зони 2 визначається параметрами комплекту обладнання, що встановлюється. Ширина розміщення блоків зони 2 фіксується.

Площа і об'єм зони 2 віднімається від загальної площі та від внутрішнього об'єму стенда. Площа, що залишилася, розбивається на дві зони: зону живлення і зону управління та оброблення даних.

Після компонування обладнання в 1 і 2 зоні вирішується завдання компонування 3 зони управління та оброблення даних.

Висновки

Таким чином, розроблені узагальнені і часткові моделі компонування мобільного сенсорного вузла і його основних зон, які, на відміну від відомих, дозволяють приймати компонувальні рішення щодо багатьох функціональних критеріїв, залежно від їх пріоритету.

Література

1. Рязанова Н. Е. Оценка экологического состояния геосистемы Ладозского озера. *Проблемы региональной экологии*. 2000. № 3. С. 32–42.
2. Мониторинг поверхностных вод. URL: <http://www.nsmos.by/content/174.html> (дата звернення 14.09.2019).
3. Степова О. В., Рома В. В. Моніторинг поверхневих вод: навч. посібник. Полтава: ПолтНТУ, 2017. 82 с.
4. Дмитриев В. В. Оценка экологического состояния водных объектов суши. *Экология. Безопасность. Жизнь. Гатчина*. 1999. Вып. 8. С. 200–217.
5. Нефедов Л. И., Овчаренко В. Е., Щеголь В. А., Овсиенко А. В. Математические модели синтеза модулей, блоков и стендов передвижной лаборатории. *Технология приборостроения*. Харьков, 2007. № 1. С. 36–38.
6. Evren R. Interactive compromise programming. *Journal of the Operational Research Society*. 1987. V. 38. No. 2. P. 163–172.
7. Нефедов Л. И., Петренко Ю. А., Овсиенко А. В. Синтез мобильного офиса проектов содержания и реконструкции дорог *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті*: зб. наук. праць міжнар. науково-практ. конф. Херсон, 2011. Т. 1. С. 72–76.

References

1. Ryazanova N. E. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya geosistemy Ladozhskogo ozera [The ecological state evaluation of the Ladoga Lake geosystem]. *Problemy regional'noy ekologii*. 2000. No. 3. Pp 32–42.
2. Monitoring poverkhnostnykh vod [Surface water monitoring]. Retrieved from: <http://www.nsmos.by/content/174.html> (accessed: 14.09.2019) [in Russian].
3. Stepova O. V., Roma V. V. Monitorynh poverkhnevnykh vod [Surface water monitoring]: navch. posibny'k. [in Ukrainian]. Poltava: PoltNTU, 2017. 82 с.
4. Dmitriev V. V. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh ob'ektov sushi [Evaluation of the ecological state of water objects of land].

- Ekologiya. Bezopasnot'. Zhizn'. Gatchina. 1999. Vip 8. Pp. 200–217.*
5. Nefedov L. I., Ovcharenko V. E., Shchegol V. A., Ovsienko A. V. Matematicheskie modeli sinteza moduley, blokov i stendov peredvizhnoy laboratorii [Mathematical models of the synthesis of modules, blocks and stands of a mobile laboratory]. *Tekhnologiya priborostroeniya*. Harkov, 2007. No 1. Pp. 36–38.
 6. Evren R. (1987) Interactive compromise programming. *Journal of the Operational Research Society*, 38 (2), 163–172.
 7. Nefedov L. I., Petrenko Yu. A., Ovsienko A. V. Sintez mobilnogo ofisa proyektov sodержaniya i rekonstruktsii dorog [Synthesis of a mobile office for road maintenance and reconstruction projects]. *Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti: nauch.-prakt. Konf.* Kherson, 2011. T. 1. Pp. 72–76.

Technology and model of elements layout of mobile sensor node for surface water monitoring

Abstract. Problem. Clean water sources are important not only for the aquatic ecosystem and natural habitats but also for the successful functioning of road transport enterprises. In the past, water quality assessment relied primarily on time-consuming measurements for data collection. Recent advances in sensor technology, robotics and the Internet of Things have led to significant progress in the environmental telemonitoring using. In the field of water monitoring, static stations or buoys have been developed by research institutes and environmental agencies with capabilities for automated measurements, data logging and wireless data transmission. One of the promising areas of reservoir monitoring technology is mobile sensor nodes, which are capable to make moving measurements in order to increase the flexibility of gathering information in locations of interest on a large-scale territory. **Goal.** The goal of the paper is to improve the efficiency of monitoring the quality of the aquatic environment by developing models and methods of the synthesis of a mobile sensor node to monitor the status of surface waters. **Methodology.** System analysis, multicriteria optimization methods and structuring of automated equipment assembly processes based on an overview of existing methods and design tools for these types of objects. **Results.** Generalized and partial problems of

the mobile sensor node synthesis are formulated; the mathematical model of placement of main blocks for mobile sensor node is developed. **Originality.** Methods of system analysis and multicriteria optimization were further developed by expanding them to a new subject area – the layout of the mobile sensor node for the surface water status monitoring. **Practical value.** Generalized and partial models of the layout of the mobile sensor node and its main zones were developed, which, unlike the known ones, allow reducing the time for deciding on the layout of the mobile sensor node to monitor the status of surface waters based on several functional criteria, depending on their priority.

Key words: mobile sensor node, element layout, water quality monitoring.

Petrenko Yuri, Dr. Sc, Professor,
tel. +380(50) 802-21-31,
petrenko.yuriy.an@gmail.com,

Mikhaylova Anastasiia, Master student,
anastasia.mikhaylova97@gmail.com,
Kharkiv National Automobile and Highway
University, Yaroslava Mudrogo st, 25, Kharkiv,
Ukraine, 61002.

Технология и модель компоновки элементов мобильного сенсорного узла мониторинга поверхностных вод

Аннотация. Проведено исследование состояния поверхностных вод на территории Украины. В результате анализа публикаций поставлена цель работы, заключающаяся в аналитическом исследовании, результат которого позволит спроектировать систему мониторинга качества воды, основной целью которой является получение информации о природном качестве воды и оценка его изменений в результате действия антропогенных факторов.

Ключевые слова: мобильный сенсорный узел, компоновка элементов, мониторинг качества воды.

Петренко Юрий Антонович, д.т.н., профессор,
+380(50) 802-21-31, petrenko.yuriy.an@gmail.com,
Михайлова Анастасия Ивановна, магистр,
anastasia.mikhaylova97@gmail.com,
Харьковский национальный автомобильно-
дорожный университет.