УДК 504.064.3

Кучірка Ю.М., Чеховський С.А., Баран С.В.

АВТОНОМНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ РІЧОК ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕНЕЙ

Проаналізовано переваги та недоліки сучасних методів та засобів екологічного моніторингу річок та прогнозування повеней на них. Запропоновано автономну веб-орієнтовану інформаційно-вимірювальну систему, яка базується на застосуванні гідроенергії, не залежить від погодних умов, пори року чи періоду дня, захищена від несанкціонованого втручання та дозволяє в реальному часі здійснювати дистанційні вимірювання екологічних параметрів річок, в т.ч. з метою прогнозування, раннього виявлення та запобігання повеням.

Ключові слова: річка, екологічний моніторинг, гідроенергія, повінь, інтернет.

Складною проблемою сьогодення є постійний екологічний моніторинг параметрів річок та прилеглих до них територій щодо оцінки та мінімізації впливу гідроелектростанцій, а також небезпечних промислових об’єктів, таких як атомні та теплові електростанції, об’єкти нафтогазової промисловості тощо (в т. ч. з метою реагування на аварійні ситуації на них), які можуть мати шкідливий вплив на цей регіон [1].

Не менш важливим завданням є вчасне реагування на природні стихійні лиха, зокрема повені, які регулярно мають місце у багатьох регіонах планети, у тому числі у Західній Україні. Вчасна реакція на такі події дозволяє зберегти життя, здоров’я, майно населення та підприємств, які знаходяться в цьому регіоні. Особливо актуальним це питання є для туристичної галузі Західної України, де вчасна реакція на стихійні лиха суттєво підвищує безпеку зон відпочинку з високою ймовірністю таких подій.

На сьогоднішній день у світі розроблено ряд систем, які призначені для вирішення таких завдань [2-8]. До них можна віднести рухомі системи, які використовують безпілотні літальні апарати (дрони) чи плавальні катери, які здійснюють періодичний моніторинг природних водойм під дистанційним управлінням оператора, чи в автоматичному режимі у відповідності до заздалегідь заданого маршруту. Їх перевагою є можливість оперативної зміни маршруту моніторингу, швидкої доукомплектації вимірювального модуля різноманітними первинними перетворювачами для виконання широкого спектру завдань, включаючи оцінку якості води, визначення екологічного стану регіону, проведення фото/відео фіксації місцевості і т. д. Недоліком є незначна відстань їх застосування у зв’язку з обмеженим ресурсом внутрішніх акумуляторних збірок, чи погодних умов (для модулів, які живляться сонячною енергією), а також можливість їх пошкодження чи зупинки на шляху до місця призначення. Крім того, вагомою вадою таких систем є можливість невчасної фіксації стихійного лиха чи екологічних аварій у період між запусками таких рухомих апаратів. Інші системи базуються на стаціонарних вимірювальних модулях: плавальних на поверхні води буях чи наземних станціях екологічного моніторингу, які можуть знаходитися у важкодоступних місцях. Їх ключовою перевагою є можливість постійного моніторингу екологічних параметрів місцевості та раннього виявлення стихійних лих. Враховуючи дві ключові проблеми їх функціонування у важкодоступних місцях, а саме відсутність зовнішнього електропостачання та провідних систем передачі даних, такі системи, як правило, базуються на застосуванні сонячних панелей для забезпечення електроживлення та (або) акумуляторних збірок.

Все ж застосування сонячних панелей для електроживлення вимагає встановлення таких вимірювальних модулів тільки на відкритій місцевості, що зумовлює їх легку доступність для пошкодження чи можливість несанкціонованого втручання в їх роботу. В разі ж їх встановлення на поверхні природніх водойм, вони можуть бути небезпечною перешкодою для водного транспорту. Недоліком використання сонячної енергії є також суттєва залежність вихідної потужності сонячних панелей від пори року, погоди, періоду

дня, неможливість вимірювання в нічний час. Для покращення ситуації такі системи комплектуються акумуляторними збірками, що веде до суттєвого скорочення терміну їх служби та зростання вартості систем моніторингу через високу ціну та короткий життєвий ресурс акумуляторів.

Для передачі виміряних даних автономні системи екологічного моніторингу традиційно використовують супутниковий GPS зв'язок [4], а також GSM/GPRS мережу мобільних операторів, якщо останні є доступними у цьому регіоні [9-11]. При встановленні на певній території сітки вимірювальних модулів можуть застосовуватися безпровідні мережі Wireless Local Area Network (WLAN), Wireless Sensor Network (WSN) [11] чи високошвидкісні мережі мобільного зв'язку 3G, 4G, а в майбутньому і 5G [12].

Значення отриманих інформаційних сигналів від таких вимірювальних систем можуть бути підставою для відповідної реакції, наприклад, оповіщення населення та реагування на стихійні чи техногенні лиха. Неправильне функціонування первинних перетворювачів, пошкодження вимірювального модуля через стихійні лиха чи зовнішнє втручання, помилки при передачі виміряних даних, нестабільність електроживлення, швидке зношування системи моніторингу через її тривалу експлуатацію у нестабільних природних умовах може привести до недостовірності та несвоєчасності переданих інформаційних сигналів, а отже невірних управлінських рішень на їх основі. Також слід відмітити, що існує необхідність у правильній обробці, метрологічній оцінці та інтерпретації виміряних даних з метою підвищення достовірності, оптимізації процесу передачі та точності вимірювання екологічних параметрів природніх водойм [13].

Таким чином, існує актуальна потреба у розробленні нових методів та засобів екологічного моніторингу річок [14], а також прогнозування та раннього виявлення повені на них і, відповідно, автономних систем моніторингу, які не будуть залежні від зовнішніх природних умов, можуть бути захищені від несанкціонованого втручання, а також забезпечуватимуть своєчасну передачу виміряних даних і контроль їх достовірності протягом тривалого часу.

Проаналізувавши переваги і недоліки існуючих технічних рішень запропоновано нову систему, структурна схема якої показана на рис. 1. Принцип її роботи полягає в наступному.

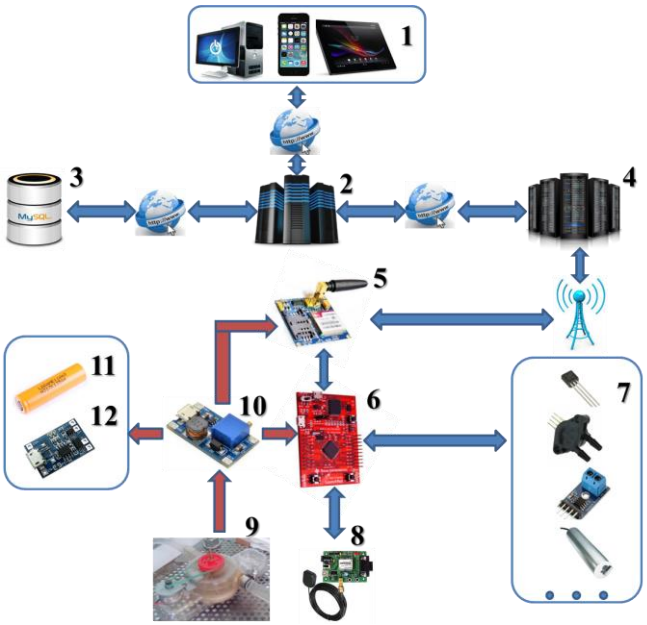

Рис. 1 – Структура автономної системи моніторингу екологічних параметрів річок та прогнозування повені

Користувач за допомогою смартфону чи ноутбуку 1 через мережу Інтернет отримує доступ до попередніх чи поточних виміряних даних через графічний веб-інтерфейс (рис. 2), який забезпечується веб-сервером 2. Результати вимірювання за минулий період зберігаються в базі даних 3. Виміряні дані надходять до веб-сервера 2 від автономного

вимірювального модуля (далі АВМ) через мережу та сервер GSM оператора 4. Для передачі даних в АВМ використовується GSM/GPRS модуль 5, який керується мікроконтролером Texas Instruments TM4C123G 6. Даний мікроконтролер має можливість одночасного збору інформації від 12 аналогових вимірювальних каналів, а також набору цифрових давачів по протоколах SPI, UART, 1-wire, CAN.

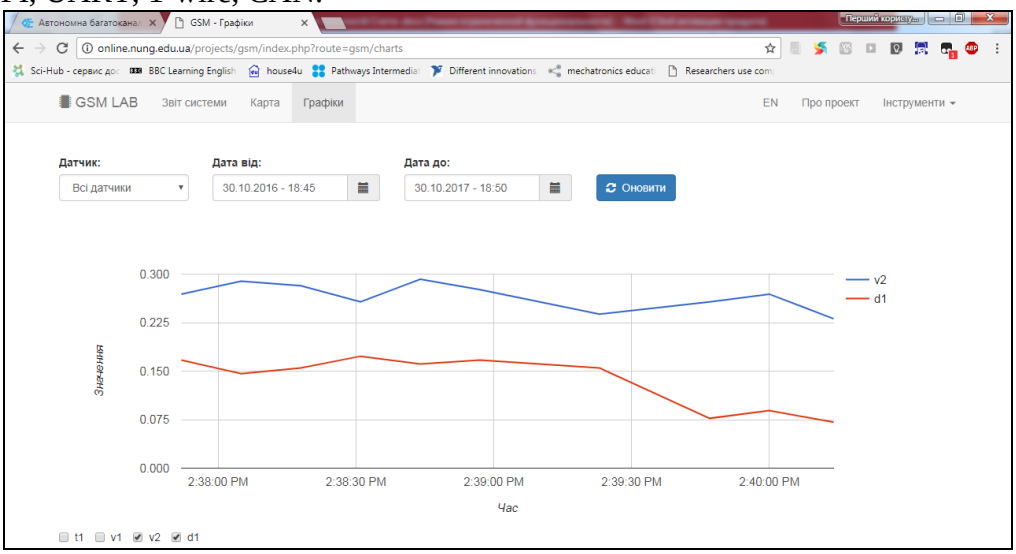

Рис. 2 – Веб-інтерфейс автономної системи моніторингу

Для контролю місцезнаходження АВМ використовується GPS модуль 8, який гарантує «прив'язку» вимірювальних даних до географічного положення АВМ, а також виявляє несанкціоновану зміну розташування АВМ, яка надсилається користувачу у реальному часі, використовуючи Google Maps API. Живлення АВМ забезпечується гідрогенератором 9 через модуль стабілізації 10. В якості резервного блоку енергоживлення (на випадок аварійного пошкодження лопатей генератора, замерзання АВМ у зимовий період) використовується акумуляторна збірка 11, зарядка якої забезпечується спеціальним блоком контролю зарядки 12. Наявність резервного джерела живлення дозволяє здійснювати дистанційний контроль працездатності АВМ навіть у випадку значного ушкодження її вимірювальної та енергогенеруючої систем, а також автоматично запускати АВМ після розмерзання чи усунення забруднення лопатей електрогенератора.

Слід підкреслити, що особливістю запропонованого АВМ є застосування спеціального низькооборотного гідрогенератора для забезпечення автономного енергоживлення АВМ. Розроблена конструкція гідрогенератора уможливлює його роботу при низьких швидкостях течії природних водойм, наприклад, річок і, таким чином, не вимагає втручання в «життєдіяльність» природної водойми. Така вимірювальна система фіксовано занурюється на невеликій відстані від дна водойми (з метою уникнення замулення лопатей гідрогенератора), що дозволяє приховати її від стороннього втручання. До базової комплектації первинних перетворювачів АВМ входять: давачі температури та рівня води, а також швидкості потоку ріки. Слід відмітити, що вихідний сигнал гідрогенератора пропорційний швидкості потоку ріки, а отже швидкість ріки може визначена на його основі. Додатково АВМ може комплектуватися давачами наявності забруднення води нафтопродуктами, водневого показника Ph, рівня радіоактивного забруднення, ультразвуковими давачами швидкості потоку і т. д. Успішні випробування базової комплектації розробленої АВМ проводилось на дистанційній лабораторії фізичних величин [15].

Враховуючи критичну важливість достовірності даних, які поступають від АВМ, існує необхідність в ефективних методах контролю правильності процесів вимірювання та передачі виміряних даних. З метою підвищення надійності передачі даних в АВМ застосовують два модулі GSM/GPRS, які налаштовані для двох різних GSM операторів. При неможливості успішної передачі по основному каналу, наприклад, через несправність модуля GSM/GPRS чи несправність мережі GSM оператора, АВМ автоматично перемикається на передачу даних через додатковий GSM/GPRS модуль, використавши

резервну мережу GSM чи 3G (у випадку встановлення відповідного модуля 3G). При цьому веб-сервер отримає повідомлення про несправність відповідного модуля. Застосування модульної архітектури у розробленні АВМ дозволяє здійснювати автоматичне перевантаження блоків передачі даних, а також контролювати статус з'єднання із сервером. Слід відмітити, що у випадку збою основного мікроконтролерного блоку АВМ, наприклад, його «зависання», АВМ автоматично буде перевантажений через заданий період часу, базуючись на застосуванні інтегрованого в нього апаратного модуля WatchDog Timer. АВМ також реалізує контроль протоколів передачі даних від первинних перетворювачів, а саме I2C, UART, CAN, 1-Wire, базуючись на контролі міток помилок таких інтерфейсів. При застосуванні інтелектуальних давачів АВМ може здійснювати опитування їх статусу щодо наявності несправностей. Крім того, АВМ забезпечує контроль стану електроживлення мікроконтролера та рівня заряду резервних акумуляторних збірок. При будь-яких несправностях, а також при проведенні періодичної самодіагностики АВМ надсилає повідомлення на сервер, які реєструються в окремому файлі реєстрації подій (log файлі).

Слід відмітити, що з метою забезпечення високої енергоефективності процес вимірювання АВМ проходить у режимі перемикання «Сон»/«Вимірювання», тобто мікроконтролер основну частину часу знаходиться у сплячому режимі (в якому майже не споживає електроенергії) і просинається тільки для проведення періодичного вимірювання чи передачі даних веб-серверу. Режим «Вимірювання» включає два етапи. На першому етапі АВМ проводить періодичне вимірювання необхідних фізичних величин, здійснює їх статистичну обробку, в т. ч. визначення середнього значення, середньоквадратичного відхилення, наявності грубих промахів тощо. На другому етапі відбувається передача виміряних даних на веб-сервер, проте лише у випадку статистично значущої зміни вимірюваного параметра. Для вимірювання критично важливих величин (рівень води, поява залишків нафтопродуктів у воді тощо) задіяні інтегровані в мікроконтролері TM4C123G апаратні компаратори, які порівнюють їх поточні значення з базовими і у випадку їх перевищення негайно виводять АВМ з режиму сну, здійснюють необхідні вимірювання та термінову передачу даних на сервер. Таким чином АВМ здійснює передачу даних на сервер у таких випадках: при суттєвій зміні вимірюваних величин; при перевищенні значень критичних параметрів; при несанкціонованому відкритті корпусу чи несправності АВМ; періодично з результатами самодіагностики та місцезнаходження АВМ. Такий підхід забезпечує суттєве збереження електроенергії для живлення модулів GSM/GPRS (які є найбільш енергозатратними в АВМ) та оптимізацію обсягу даних, які передаються серверу, а отже, і економію фінансових затрат на експлуатацію такої АВМ, прототип якої представлений на рис. 3.

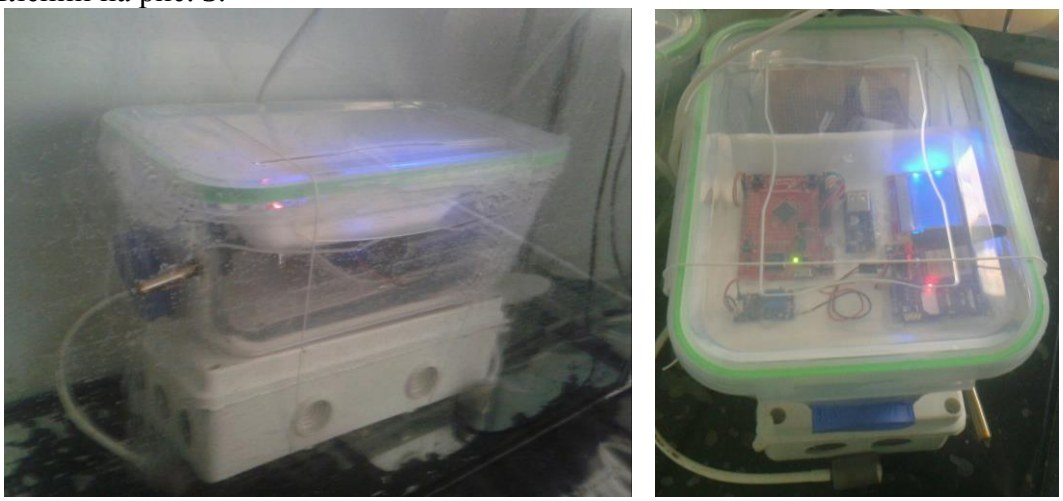

Рис. 3 –Прототип автономної системи моніторингу стихійних лих та екологічних параметрів річок

Таким чином, в даній роботі проаналізовано переваги та недоліки існуючих технічних рішень до забезпечення екологічного моніторингу річок та раннього прогнозування повеней на них у місцях, де відсутнє зовнішнє енергопостачання, або його встановлення є економічно

недоцільним. Показано, що використання сонячної енергії для енергозабезпечення автономної роботи таких систем моніторингу в деяких ситуаціях можу бути невиправданим.

Запропоновану систему, яка базується на застосуванні гідроенергії та здійснює весь необхідний комплекс вимірювань, включає систему самодіагностики та контролю основних її блоків, здійснює статистичну обробку виміряних даних та може служити ефективним інструментом для прогнозування, виявлення та запобігання повеням та погіршенню екологічного стану водних ресурсів.

1. Pohrebennyk V., Korostynska O., Mason A. and Cygnar M. Operative Control Parameters of Water Environment // 9th international conference on developments in esystems engineering (dese), Liverpool, 2016, P. 335-340.
2. Samiha Haron N., Khuzaimi Mahamad M., Abdul Aziz I. and Mehat M. Remote Water Quality Monitoring System using Wireless Sensors // 8th WSEAS International Conference on Electronics, Hardware, Wireless, and Optical Communications, Cambridge, UK, February 2009 P. 148-154.
3. Fornai F., Bartaloni F., Ferri G., Manzi A., Ciuchi F. and Laschi C. An autonomous water monitoring and sampling system for small-sized ASV operations // 2012 Oceans, Hampton Roads, VA, 2012, P. 1-6.
4. Jack L. Riley, Bryan R. Murray, Olivia A. Hauser, David B. Wolcott, Robert M. Heitsenrether, Stephen K. Gill. GPS Water Level Buoy for Hydrographic Survey Applications // Final Report: Proof-of-Concept 2014/ NWLON-Comparison Project. Silver Spring, MD (NOAA).
5. André G., Martin Miguez B., Ballu V., Testut L., Wöppelmann G. Measuring sea level with GPS-Equipped Buoys: A multi-instruments experiment at Aix island // The International Hydrographic Review, № 10-2013.
6. Gallah N., Bahri O. b., Lazreg N., Chaouch A., Kamel Besbes. Water Quality Monitoring based on Small Satellite Technology // International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 8, No. 3, 2017, P. 357-362
7. Amit Joshi A. Water Quality Monitoring System Using Zig-Bee and Solar Power Supply // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 4, No. 10, 2015, P. 8103-8109.
8. Yue R. and Ying T. A Novel Water Quality Monitoring System Solar Power Supply and Wireless Sensor Network // International Conference of Environmental Science and Engineering, Bali Island, Indonesia,Vo l. 12, Part A, 2012, P. 265–272.
9. Lonel R., Vasiu G., Mischie S. GPRS based data acquisition and analysis system with mobile phone control. Measurement // Vol. 45, no. 6 July, 2012, P. 1462-1470.
10. Dan Xu, Daoliang Li, Biaoqing Fei, Yang Wang, Fa Peng. A GPRS-Based Low Energy Consumption Remote Terminal Unit for Aquaculture Water Quality Monitoring // Computer and Computing Technologies in Agriculture VII, 2014, P. 492-503.
11. Li W., Pan P., Tan L. S., Luo X. K. Remote On-Line Automatic Monitoring System of Reservoir‟s Water Regimen Based on WSN and GPRS Network // Applied Mechanics and Materials,Vol. 536, April, 2014, P. 1223-1230.
12. National Instruments Trend Watch 2018 report [Electronic resource] // Future Faster, Mopac Expwy, Austin, October, 2017. Proceedings. – Mode of access: http://nationalinstruments.lookbookhq.com/trend-watch-2018-en/trendwatch-2018.
13. Zhu X., Yue Y., Wong P., Zhang Y. and Meng J. Novel numerical and computational techniques for remote sensor based monitoring of freshwater quality // *IEEE International Conference of Online Analysis and Computing Science (ICOACS)*, Chongqing, 2016, P. 91-95.
14. Mitra P., Ray R., Chatterjee R., Basu R., Saha P., Raha S., Barman R., Patra S., Biswas S. S., Saha S. Flood forecasting using Internet of things and artificial neural networks // *2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, Vancouver, BC, 2016, P. 1-5.
15. Kuchirka Y., Petriv M., Baran S., Ursutiu D., Samoila C. Online Teaching and Laboratory Course on Measurement Methods // International Journal of Online Engineering, vol. 12, No 3, 2016, P. 4-7.

UDK 504.064.3

Kuchirka Y.M., Chekhovskii, S.A., Baran S.V.

AUTONOMOUS SYSTEM OF RIVERS ECOLOGICAL MONITORING AND FLOODING FORECASTING

The advantages and disadvantages of modern methods and means for rivers ecological monitoring and flooding forecasting are analyzed. Proposed an autonomous web-oriented information-measuring system, based on the use of hydroenergy, does not depend on weather conditions, season or day period, is protected from unauthorized interference and allows real-time remote measurements of rivers ecological parameters, including for the purpose of prediction, early detection and preventing flooding.

Keywords: river, ecological monitoring, hydroenergy, flooding, Internet of Things.