

УДК 004.738.5:005

DOI: <https://doi.org/10.20535/0203-3771462023302695>

**А. О. Мошеський**<sup>1</sup>, *к.т.н., доцент*, **М. Л. Сукало**<sup>2</sup>, *PhD студент*

## **АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС АДАПТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ОБМЕЖЕНОЇ ЕКОСИСТЕМИ З ХМАРНИМ СЕГМЕНТОМ**

**Уа** Розроблена декомпована модель переміщення даних всередині замкнутої системи, що має модульну структуру, що є важливим аспектом для можливості швидкого розширення функціоналу існуючої системи, а також для забезпечення гарячої заміни компонентів комплексу.

Запропоновано, змодельовано та розроблено новий апаратно-програмний комплекс, який дозволяє реалізувати набір інструментів, спеціально пристосованих для моніторингу обмежених екосистем в зонах техногенного забруднення.

Удосконалено оптимальний набір сенсорів для сенсорного модуля. Інтегровано новий стек рішень у субгігерцовому діапазоні із застосуванням розширення спектру вигідно вирізняє проект стійкістю, а адаптація стандарту шифрування даних з високим ступенем захисту реалізує захист від атаки по середині.

---

<sup>1</sup> Національний університет харчових технологій

<sup>2</sup> Національний університет харчових технологій

Очікуваний ефект від впровадження мультисенсорної системи полягає в ранньому виявленні факторів надзвичайних ситуацій, прогнозуванні та прийнятті рішень щодо ліквідації виниклої небезпеки. Простий механізм реалізації системи забезпечує подальшу масштабованість та можливість швидкої заміни ключових елементів.

**En** In modern conditions, as Ukraine faces numerous challenges in the fields of ecology and security, the development of comprehensive monitoring methods for restricted ecosystems becomes increasingly relevant.

The research resulted in the creation of a decomposed model for data movement within this closed system, featuring a modular structure. This is a crucial aspect for the rapid expansion of the existing system's functionality and the hot swapping of complex components.

Upon reviewing the issue, it was determined that the methods of adaptive monitoring research for restricted ecosystems using special services on the potentially dangerous objects and objects of critical infrastructure were not sufficiently effective.

The authors proposed, modeled, and developed a new hardware-software complex that enables the implementation of a set of tools specifically tailored for monitoring in areas of anthropogenic pollution.

The optimal set of sensors for the sensor module was enhanced. A unique superposition of local and cloud solutions for data accumulation, analysis, processing, and visualization is recommended for further work in this and related fields. The integration of a new solution stack in the sub-gigahertz range, with the extension of the spectrum, distinguishes the project with resilience, while the Advanced Encryption Standard adaptation implements mid-attack protection.

The expected effect of implementing the multisensory system lies in the early detection of emergency situation factors, forecasting, and decision-making regarding the elimination of the arising danger, as well as the prompt involvement of relevant units of the State Emergency Service of Ukraine and other government structures. The simple implementation mechanism of the system ensures scalability and the quick replacement of key elements.

## **Вступ**

У сучасних умовах, коли Україна стикається з рядом складних викликів у галузі екології та безпеки, стає дедалі більш актуальною проблема розробки комплексних методів моніторингу обмежених екосистем (ОЕС). Наряду із загальними умовами спостереження ці методи повинні адаптуватися до специфіки об'єктів, що потребують моніторингу, таких як території, які постраждали від стихійного лиха, бойових дій, об'єкти критичної інфраструктури (ОКІ) та потенційно небезпечні об'єкти (ПНО). Дослідження можливостей створення мультисенсорної системи веде до розробки прототипу готового рішення, призначеного для забезпечення високого рівня безпеки та запобігання виникненню надзвичайних ситуацій в місцях, де існує потенційна загроза для здоров'я та життя людей. Такими зонами є території ведення бойових дій, ПНО, ОКІ. Серед ПНО можна виділити те-

риторії біля атомних станцій таких як Чорнобильська АЕС, Запорізька АЕС та інші промислові об'єкти що попали у зону бойових дій.

Система контролю екологічного стану на територіях із ПНО складається із обраних елементів, які включають програмовані мікроконтролери з датчиками, а також ряд супутніх пристроїв для транспортування інформації та її внесення до системи моніторингу у хмарні сховища. У результаті проведеного дослідження була розроблена декомпозована модель переміщення даних всередині цієї замкнутої системи, що має модульну структуру. Це є важливим аспектом для можливості швидкого розширення функціоналу існуючої системи, а також для забезпечення гарячої заміни компонентів комплексу.

Основні учасники цього дослідження – це органи та структури, що відповідають за координацію охорони природи на системному рівні. Серед них можна відзначити Міністерство екології та природних ресурсів України, програму ООН із навколишнього середовища (ЮНЕП). Розроблена модель спростить процес спостереження за ситуацією на ОЕС та забезпечить необхідний перелік вимірів із можливістю отримання більш деталізованих результатів завдяки сучасному обладнанню.

На сьогодні існує ряд рішень, спрямованих на екологічний моніторинг та передбачення стихійних небезпек. Проте відсутнє універсальне рішення, спрямоване на проведення адаптивного моніторингу ОЕС біля ПНО та ОКІ і прилеглих територіях. Невиявлені вчасно місця техногенного забруднення можуть призвести до поширення небезпечних речовин на прилеглі території. Використання сучасних приладів та механізмів може вирішити проблему моніторингу екологічного стану в Україні та вчасного виявлення проблемних зон. Із урахуванням зацікавленості світових організацій у розв'язанні екологічних проблем та участі України у моніторингу і наявності ситуативного стану потенційних цільових об'єктів для досліджень, розумним є створення моделі для спеціалізованого рішення.

У роботах [1 - 2] розглянуто аналіз безпроводних сенсорних мереж (БСМ) та розрахунки енергетичних параметрів каналів зв'язку, але діапазони частот не збігаються із запропонованими у поточному дослідженні. Комплекс [3] описує прототип мобільного блоку аналізу, що є цінним, та не збігається із задачами дослідження. У публікаціях [4 - 6] розглянуті близькі за принципом, але відмінні за класом сенсорні поля малих радіусів дії, що є цінним в аналізі класичних систем у *IP*. У [7] розглянуті мережі безпроводної передачі із перспективою роботи у напрямку досліджень авторів, а от предмет дослідження не є надто близьким до повільних змін в екосистемах. Наступна стаття, [8] є атипова реалізація недокументованих протоколів на модулях суміжних та використаного авторами діапазонів і є цінна як ідея до можливої адаптації стеків протоколів. Питання забезпечення стійкості та цілісності даних у БСМ для *IP* розглянуто у [9 - 2], але з

огляду на вбудовані в обрану технологію рішення є надлишковими для задачі авторів. Цікава антена [13 - 14] не має сенсу для роботи у мережі екомоніторингу, та принципи наводять на ідеї для подальшого виводу до адаптації антенних систем. Рухомі пристрої [15] мають цінне підґрунтя, але абсолютно інший розподіл енергії джерел живлення, тож рекомендувати рішення у адаптивний екомоніторинг важко. У [16] наведено варіант реалізації хмарних частин, але елементи аналізу в хмарі недостатні. Мережі 5 покоління [17] на жаль поки недоступні в Україні, як поширене явище. Красивий аналіз емпіричного характеру [18], але, на жаль, для мереж 802.11, тож радіус дії, навіть у разі зміни 2 рівня моделі взаємодії не дозволяють вийти за дальність сотні метрів. У [19] авторами наведено шлях подальшої адаптації запропонованого стеку, але дослідження зараз у процесі, дані віддаються в відкриті джерела для обміну із колегами. Отже, у жодній роботі немає готового рішення для розв'язання поставленої авторами мети. Ідея таких апаратно-програмних рішень наближена до теми дослідження, але, на жаль, немає універсального механізму, що міг би адаптуватись для критичного моніторингу ОЕС об'єкту спостереження.

### Постановка задачі

Розробка моделі апаратно-програмного комплексу адаптивного моніторингу обмеженої екосистеми із хмарним сегментом. Основні функції системи – збір та передача даних для адаптивного моніторингу ОЕС на ПНО та ОКІ.

### Викладення основних результатів дослідження

Розумно розпочали моделювання запропонованого апаратно-програмного комплексу з основної ідеї, яка загалом дозволяє розглядати систему та проводити її декомпозицію. Ключовим етапом є отримання моніторингових даних та їх зберігання для подальших досліджень. Модель такого процесу наведена на рис. 1.

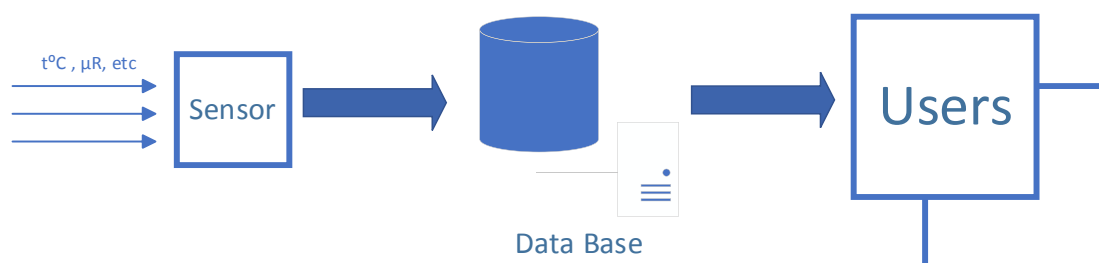


Рис. 1. Загальна модель отримання результату

Визначили компоненти комплексу, які відповідають за процес збору даних, а також маршрути їх трансляції до бази даних та інтернету. У на-

шому випадку інформація зовнішнього середовища буде отримуватися базою даних *DATA BASE*, як через інтернет, так і альтернативними безпроводовими засобами із подальшою синхронізацією із хмарним сегментом, також транслюватися в інтернет у реальному часі (рис. 2).

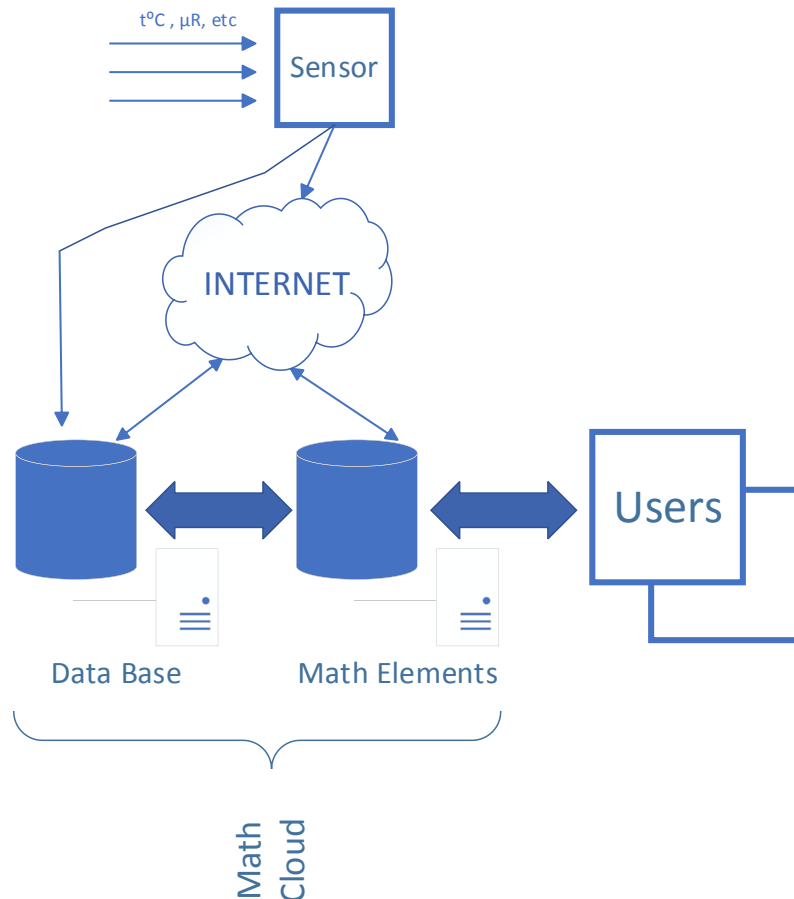


Рис. 2. Збір даних та трансляція до *Data Base*

Ураховуючи особливості локальних перепадів рельєфу місцевості, де буде використовуватися розроблена система, важливо забезпечити її безперебійний доступ до всіх модулів передачі даних. Для цього створили ланцюжок передачі даних між пристроями, забезпечуючи можливість обміну інформацією на великій відстані. На рис. 3 представлена модель, у якій використовується проміжний елемент «*Radio*», що представляє собою радіо модуль, до якого надходить інформація з пристрою «*MCU*» через радіоканал, і потім відправляється через радіо шлюз в мережу Інтернет.

Ретельніше розглянули механізми збору та передачі даних, які реалізовані на базі однокристальних мікроконтролерів *ESP8266*. На рис. 4 мікроконтролер «*MCU*» із підключеними до нього рядом датчиків збору обраного набору інформації – температура, вологість, тиск, прискорення за координатами ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), газоналізатори, кисень, радіометр та передавачем «*LoRa*». Зібрані дані на «*MCU*» передаються через радіоканал до шлюзу

приймача радіо каналу з модулем *Wi-Fi*, який далі передає дані на точку доступу «AP» і далі в інтернет.

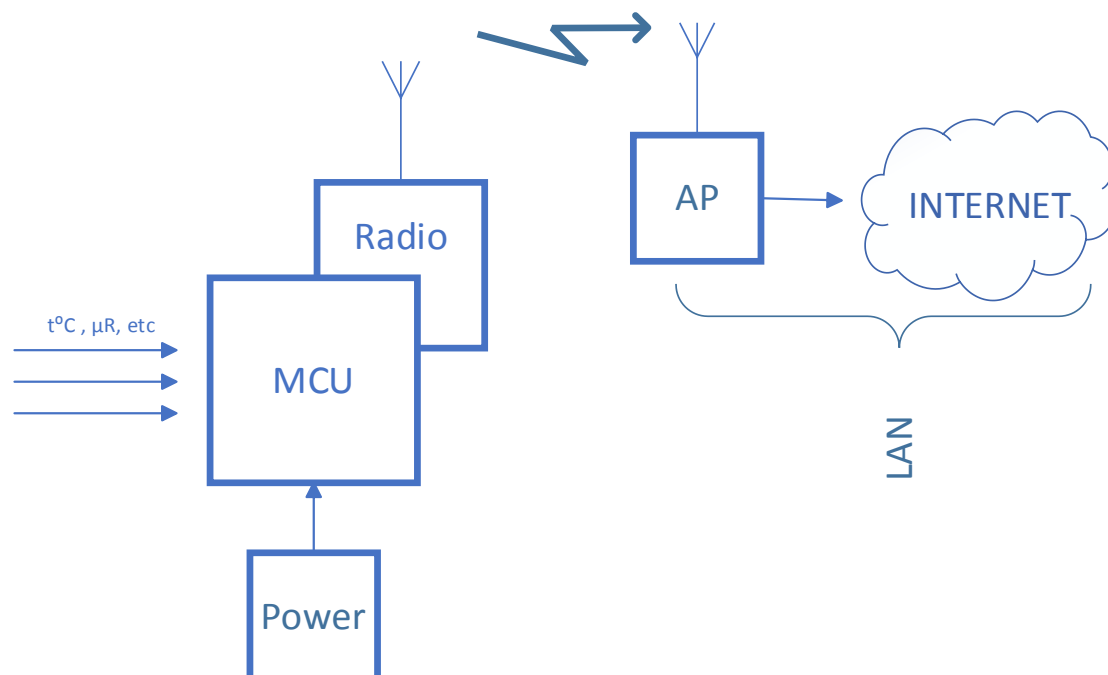


Рис. 3. Забезпечення роботи модулів передачі інформації по безпроводовому інтерфейсу

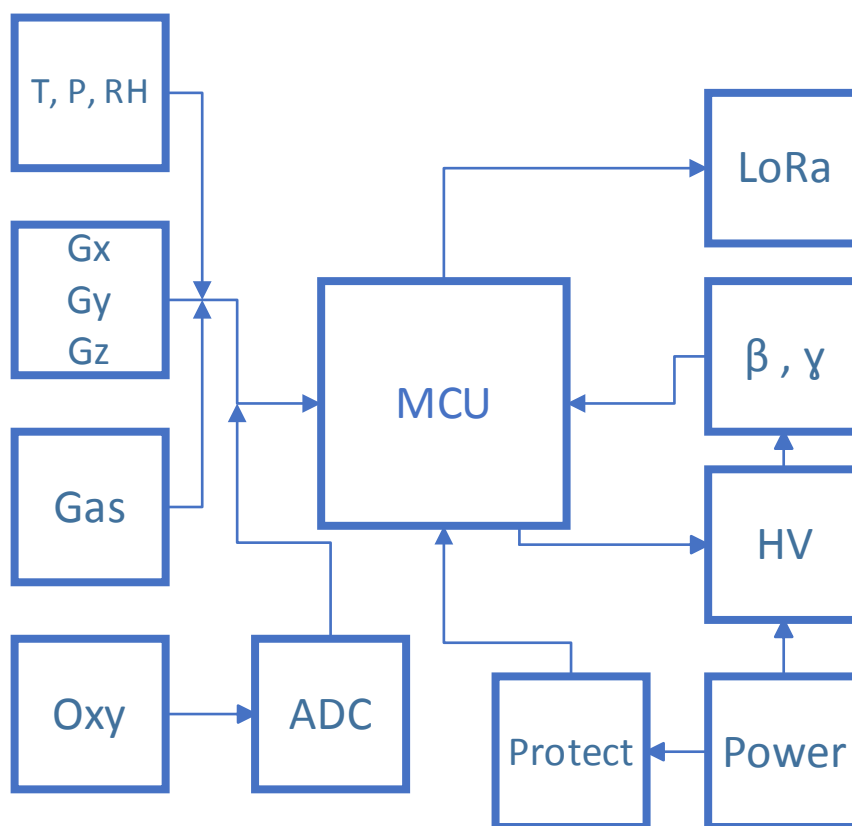


Рис. 4. Підключення модулів до мікроконтролеру

Шлюз являє собою МК із апаратною підтримкою *Wi-Fi* та аналогічним радіомодулем від *Semtech*, *LoRa*, що підключено до апаратного *SPI* інтерфейсу. Радіомодуль працює у режимі без скорочення енергоспоживання для усунення пропуску пакетів від сенсорів. Аналогічний режим використовується у мережах *LoRaWAN* для шлюзів, що працюють в класі *C*.

Отримання очікуваного результату досліджень здійснюється через збір актуальної інформації про зовнішнє середовище програмованим мікроконтролером «*MCU*», який може бути розташований, як на людині так і на різних мобільних механізованих платформах.

Важливим є те, що «*MCU*» не залежить безпосередньо від характеристик носія, тому може використовуватися будь-яка форма слідування програмованим маршрутом. Під час роботи за допомогою спеціальних датчиків (рис. 5) йде збір наступної інформації:

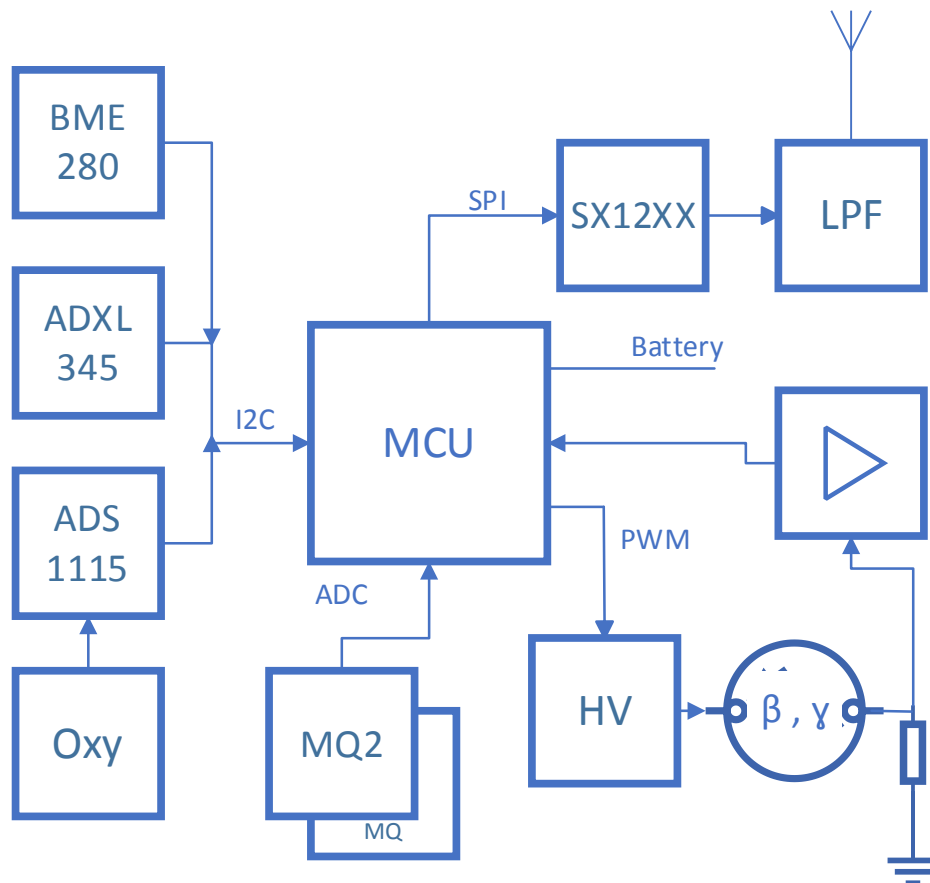


Рис. 5. Мікроконтролер *MCU* з під'єднаними датчиками

- коливання радіаційного фону у вигляді бета та гамма-випромінювань ( $\beta$ ,  $\gamma$ );
- фіксація температури, вологості, тиску ( $t$ ,  $P$ ,  $RH$ );
- реакція на загазованість ( $MQ$ );- реакція на вміст кисню ( $Oxy$ );
- дані акселерометра, навантаження по осям ( $Gx$ ,  $Gy$ ,  $Gz$ );
- gps координати ( $GPS$ );

– час проведення замірів (*GPS*).

Для забезпечення оптимальної ефективності роботи системи, до «*MCU*» підключена система управління акумулятором, що робить її повністю автономною. На рис. 6 наведена схема декомпозиція модуля радіометра з організацією тактової частоти від «*MCU*».

Склавши всі блоки модельованого апаратно-програмного комплексу, отримали готове до впровадження рішення, яке складається із трьох ключових компонентів: модуля збору та передачі даних, модуля трансферу даних із локального середовища до мережі Інтернет, а також веб-орієнтованої системи моніторингу для збереження та відображення даних.

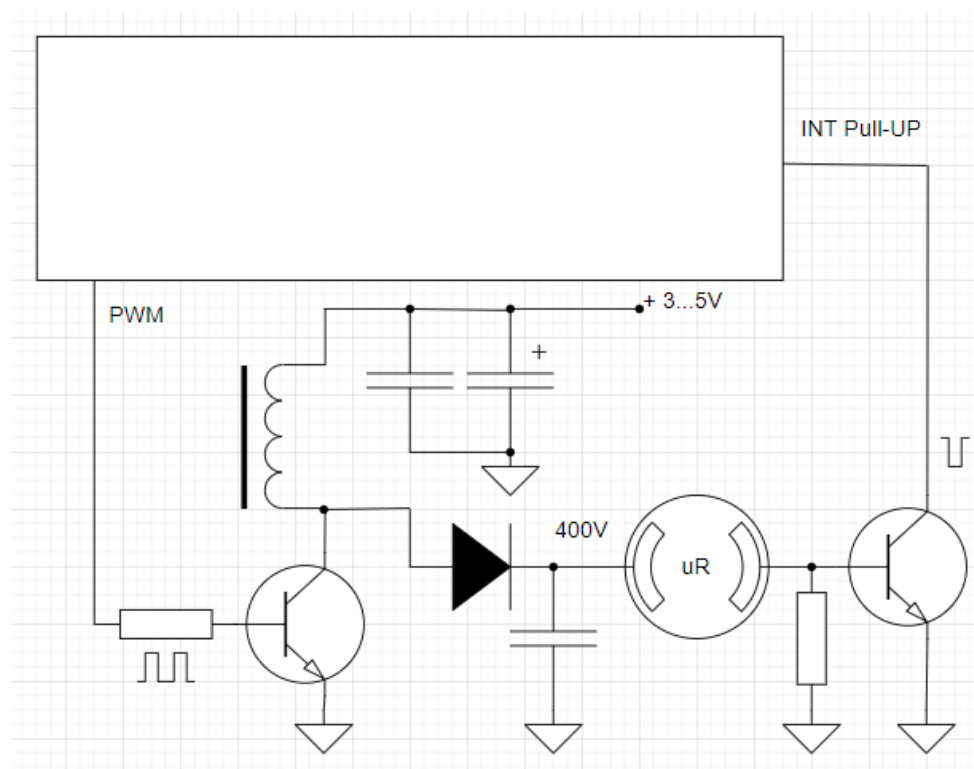


Рис. 6. Модуль радіометра, схема електрична принципова

Ця хмарна платформа дозволяє зберігати результати вимірювань за достатньо тривалий період часу, що дає змогу аналізувати інерційні залежності в ОЕС.

Оптимальний рекомендований та необхідний набір сенсорів являє собою набір від різних виробників з причин їх досягнень у певних галузях. Термогігрометр із барометром виробництва *Bosh* оптимальний та використаний авторами *BME280*. Більш сучасний *BME680* не має сенсу не дивлячись на роздільну здатність висотоміра в 10 см, що не є принциповою у порівнянні з шумами, а комбінований *TVOC* взагалі краще замінити на набір спеціалізованих катарометрів.

Звичайно, це негативно впливає на енергетику, але специфіка об'єкту спостереження вимагає диференціювання за шкідливими витоками речовин та імовірних чинників. Тому відмовитися від катарометрів від



*Winsen* важко. Вибір впадає на набір із кількох із списку згідно потенційних загроз: *MQ-2*, *MQ-5*, *MQ-7*, *MQ-9*, *MQ-135*, було застосовано у проекті. *Kozir SK-25* має термін дії 10 років, точність у межах до 30 % кисню на рівні доль відсотків. Вартість сенсору є найвищою для наведеного АПК.

*Analog Devices* пропонує *ADXL345* із 16 біт роздільної здатності в діапазоні до 2 прискорень вільного падіння та шина *I2C*, обрано у проекті. *ADXL335* із трьома аналоговими виходами задає високий поріг для топології плати та АЦП МК, тому і не рекомендовано в цю конкретну систему.

Зовнішні АЦП *ADS1115* чи *ADS1015* від *Analog Devices* працюють у зв'язці із *Kozir SK-25* у режимі балансного диференційного входу.

*J305* або аналог розробки часів СРСР СБ-20 чи СТС-6 є достатньо чутливою для зменшення динамічного часового вікна пошуку витоків джерел іонізуючого випромінювання.

Розроблений прототип модуля апаратної частини комплексу показано на рис. 10. Прототип пройшов ряд вдалих польових випробувань.



Рис. 10. Прототип модуля апаратної частини комплексу

## Висновки

Запропоновано, змодельовано та розроблено новий апаратно-програмний комплекс, який дозволяє реалізувати набір інструментів, спеціально пристосованих для моніторингу обмежених екосистем в зонах техногенного забруднення.

Було вдосконалено оптимальний набір сенсорів для сенсорного модуля. Унікальне поєднання локальних та хмарних рішень для збору, аналізу, обробки та візуалізації даних може бути рекомендоване для майбутніх досліджень у цій та суміжних областях. Інтеграція нового стеку рішень у субгігагерцовому діапазоні із використанням розширення спектру вигідно виділяє проект за його стійкістю, адже адаптація АЕС забезпечує захист від атак системи.

Впровадження мультисенсорної системи передбачає покращення часу виявлення надзвичайних ситуацій, їх прогнозування та швидке реагування, сприяючи безпеці екологічного стану України. Простий механізм системи забезпечує можливість масштабування та швидку заміну ключових елементів для подальшого розвитку.

### Список використаної літератури

1. UT5UUV // [Electronic resource] // – Access: <http://www.qrz.com/db/UT5UUV>
2. *Мошенський А. О.* Прогнозування умов радіозв'язку на основі комп'ютерної обробки даних підчас змагань з радіозв'язку. Наукові записки УНДІЗ. 2012. №1(21). С.227–236 с.
3. *Мошенський А. О., Горілий В.* Програмноапаратний комплекс для моніторингу торф'яних пожеж на радіоактивно забрудненій території. Наукові праці НУХТ. 2019. Том 25. №2. С. 16–21
4. *Ran Liuab, Chau Yuenb, Tri-Nhut Doc, Meng Zhangd, Yong Liang, GuaneU-XuanTanb.* Cooperative positioning for emergency responders using self IMU and peer-to-peer radios measurements. Information Fusion. April 2020. Volume 56. P. 93–102
5. *Barral V., Suárez-Casal P., Escudero C. J., García-Naya J. A.* Multi-Sensor Accurate Forklift Location and Tracking Simulation in Industrial Indoor Environments. Electronics. 2019. Volume 8(10). P. 1152. <https://doi.org/10.3390/electronics8101152>.
6. *Binyam Shiferaw Heyi,* Implementation of Indoor Positioning using IEEE802.15.4a (UWB). A Thesis submitted for partial fulfillment of the Masters of Science in Electrical Engineering Major in Network Services And Systems (Stockholm, Sweden January, 2013).
7. *Moshenskyi, A., Novak, D., Oleshchenko, L.* (2023). Sub-Gigahertz Wireless Sensor Network for Smart Clothes Monitoring. In: Hu, Z., Dychka, I., He, M. (eds) Advances in Computer Science for Engineering and Education VI. ICCSEEA 2023. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 181. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-36118-0\\_59](https://doi.org/10.1007/978-3-031-36118-0_59)
8. *Moshenskyi A.* Private rescue echo beacon with FSK radiomodule. Scientific journal "Science-Based Technologies", 4(48), 2020, pp. 478-483.

9. *Mohsen Salehi, Jamal Karimian.* A Trust-based Security Approach in Hierarchical Wireless Sensor Networks. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies(IJWMT)*, Vol.7, No.6, pp. 58-67, 2017.
10. *Jasvir Kaur, Sukhchandan Randhawa, Sushma Jain.* A novel Energy Efficient Cluster Head Selection Method for Wireless Sensor Networks. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies(IJWMT)*, Vol.8, No.2, pp. 37-51, 2018.
11. *Atul Kumar Pandey, Nisha Gupta.* An Energy Efficient Clustering-based Load Adaptive MAC (CLA-MAC) Protocol for Wireless Sensor Networks in IoT. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies(IJWMT)*, Vol.9, No.5, pp. 38-55, 2019.
12. *Audrey Nangue, Elie Fute Tagne, Emmanuel Tonye,* Robust and Accurate Trust Establishment Scheme for Wireless Sensor Network, *International Journal of Computer Network and Information Security(IJCNIS)*, Vol.12, No.6, pp.14-29, 2020.
13. *Shcherbyna O., Zaliskyi M., Kozhokhina O., Yanovsky F.* Prospect for Using Low-Element Adaptive Antenna Systems for Radio Monitoring Stations, *International Journal of Computer Network and Information Security(IJCNIS)*, Vol.13, No.5, pp.1-17, 2021.
14. *Hafiz Suliman Munawar,* An Overview of Reconfigurable Antennas for Wireless Body Area Networks and Possible Future Prospects, *International Journal of Wireless and Microwave Technologies (IJWMT)*, Vol.10, No.2, pp. 1-8, 2020.
15. *Punith Kumar M B, Sumanth S, Manikant Amaresh Savadatti.* Internet Rescue Robots for Disaster Management. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies(IJWMT)*, Vol.11, No.2, pp. 13-23, 2021.
16. *Adil Bashir, Sahil Sholla.* Resource Efficient Security Mechanism for Cloud of Things. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies(IJWMT)*, Vol.11, No.4, pp. 41-45, 2021.
17. *Cosmas Kemdirim Agubor, Akande Olukunle Akande,* Chinedu Reginald Opara. On-off Switching and Sleep-mode Energy Management Techniques in 5G Mobile Wireless Communications – A Review. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies(IJWMT)*, Vol.12, No.6, pp. 40-47, 2022. DOI:10.5815/ijwmt.2022.06.05
18. *Si Ting Ng, Y. S. Lee, Kavinesh S Radhakrishna, Thiruvarasu Muthu Krishnan.* Study of 2457 MHz WIFI Network Signal Strength at Indoor and Outdoor Environment. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies(IJWMT)*, Vol.11, No.6, pp. 1-9, 2021. DOI: 10.5815/ijwmt.2021.06.01
19. UT4UCR Console // [Electronic resource] // – Access: <https://tinygs.com/station/UT4UCR@533423694/>