

ДК 004.89:004.421.2:519.85

Кагарлицький Євгеній Іванович
(аспірант ПВНЗ «Європейський університет»)
ORCID: 0009-0003-8905-5226

Паршин Михайло Михайлович
(аспірант ПВНЗ «Європейський університет»)
ORCID: 0009-0001-6848-2953

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ І ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Анотація. У статті досліджено особливості формування інтелектуальних систем моніторингу, які поєднують обробку частотно-модульованих сигналів та аналіз зображень, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів. Показано, що сучасні моделі штучного інтелекту перестають бути суто інструментами для класифікації чи прогнозування. Вони формують нову логіку обробки інформації, де різномірні дані взаємодіють у спільному цифровому середовищі. Обґрунтовано, що частотно-модульовані сигнали мають високий потенціал для оцінювання стану технічних систем та моніторингу потужностей, тоді як візуальна інформація з БПЛА забезпечує просторову деталізацію, недоступну класичним сенсорам. Представлено унікальну схему потоку даних у такій системі, яка відображає послідовність збирання сигналів, їхню попередню фільтрацію, роботу інтелектуального модуля та формування аналітичних рішень у режимі реального часу. Доведено, що поєднання цих підходів створює гібридні системи нового покоління, де аналітична точність поєднується з адаптивністю машинного навчання.

Ключові слова: інтелектуальні системи, моніторинг, частотно-модульовані сигнали, обробка зображень, БПЛА, штучний інтелект, комп'ютерний зір, аналіз даних.

Постановка проблеми. У сучасних умовах цифрової інженерії контроль технічних процесів, аналіз стану обладнання та моніторинг виробничих потужностей потребують нових підходів. Дані стали різномірними. Частина з них надходить у вигляді швидкоплинних сигналів з високою частотою дискретизації. Інша утворюється через візуальний контроль. БПЛА забезпечують огляд великих площ і об'єктів, які часто не можна охопити наземними сенсорами. Така різномірність створює складну ситуацію. Система повинна не лише сприймати дані, а й розуміти контекст, виявляти закономірності, реагувати на відхилення. Класичні алгоритми обробки сигналів виявилися недостатніми у середовищі, що швидко змінюється. Візуальні моделі без додаткових засобів також залишаються обмеженими. Звідси виникає потреба у створенні інтегрованих систем, де штучний інтелект стає ядром обробки, аналізу, інтерпретації та ухвалення рішень.

Проблема полягає в тому, що методи опрацювання сигналів і методи аналізу зображень традиційно розвивалися відокремлено. Прагнення інтегрувати їх в єдину інтелектуальну систему створює нові виклики. Потрібна модель, яка працюватиме з обома типами даних, зберігаючи точність, гнучкість та здатність до самоадаптації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікаціях останніх років простежується помітна тенденція до використання методів штучного інтелекту для обробки сигналів, у тому числі частотно-модульованих. Дослідники наголошують, що глибинні моделі дають змогу виявляти структурні закономірності там, де класичні методи демонструють обмеження [1]. Використання спектральних перетворень у поєднанні з нейромережевими моделями дозволяє отримувати високу точність розпізнавання складних частотних патернів, що особливо важливо у задачах моніторингу потужностей [2].

Паралельно з цим активно розвивається напрям використання БПЛА для збирання візуальної інформації. У роботах після 2020 року дослідники пропонують численні моделі комп'ютерного зору для аналізу стану інфраструктури, енергетичних об'єктів, транспортних мереж та територій підвищеного ризику [3]. Значна увага приділяється задачам розпізнавання аномалій, визначенню дефектів та відстеженню технічного стану об'єктів із використанням нейромережових моделей [4]. Нова хвиля наукових праць спрямована на інтеграцію даних різних модальностей у єдиному цифровому середовищі. Дослідники доводять, що поєднання сигналів та зображень дає можливість системам працювати точніше і прогнозувати поведінку обладнання з високим ступенем достовірності [5]. Найбільш актуальними є роботи, де розглядається створення мультимодальних моделей, які навчаються одночасно на сигнальних та візуальних даних [6]. У сучасній літературі, однак, бракує системних досліджень, які б описували інтегровані системи моніторингу потужностей, що поєднують частотно-модульовані сигнали і зображення з БПЛА в єдиному інтелектуальному контурі. Саме ця прогалина і визначає актуальність статті.

Мета статті. Мета роботи полягає у формуванні цілісного уявлення про інтелектуальні системи моніторингу, що інтегрують обробку частотно-модульованих сигналів і аналіз зображень з БПЛА на основі сучасних методів штучного інтелекту. Особлива увага приділяється моделюванню потоку обробки даних і побудові унікальної схеми, яка відображає динаміку роботи такої системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Обробка сигналів і обробка зображень — це два різні підходи до вивчення поведінки технічних об'єктів. Сигнали містять часові зміни інтенсивності, частоти та інших параметрів. Зображення несуть у собі просторовий контекст. Сигнал швидко змінюється. Зображення, навпаки, фіксує мить у просторі. Але обидва типи даних важливі для оцінки реального стану об'єкта. У сучасних умовах частотно-модульовані сигнали застосовуються для контролю потужностей у різних системах. Вони дають змогу виявляти відхилення, які не можна побачити візуально. Наприклад, коливання частоти може свідчити про нестандартний режим роботи двигуна або перевантаження обладнання. Водночас БПЛА дозволяють фіксувати зовнішні ознаки несправностей. Тріщини, перегрів, прогини, пошкодження поверхні — усе це важко ідентифікувати за допомогою сигнальних методів. Поєднання таких даних формує багатовимірну картину стану об'єкта.

Моделі штучного інтелекту дозволяють гнучко інтегрувати інформацію. Нейромережові підходи працюють із сигнальними рядами так само природно, як із зображеннями. У моделях для аналізу сигналів часто застосовують рекурентні архітектури або трансформери. Вони виявляють відхилення, які людина може пропустити через складність структури даних. У моделюванні зображень переважають згорткові мережі та сучасні візуальні трансформери, які здатні аналізувати навіть дрібні просторові деталі. Перевага ШІ полягає у здатності автоматично адаптуватися до зміни поведінки об'єкта. Модель навчається на історичних прикладах і формує уявлення про норму. Коли система виявляє аномалію, вона реагує швидко. У гібридній системі, яка інтегрує сигнали і зображення, ШІ стає центральним елементом, що об'єднує два типи інформації. Він оцінює як динаміку частотних змін, так і структурні особливості об'єкта. Завдяки цьому формується більш достовірний прогноз подальшого стану.

Наведена нижче схема (рис.1) відображає логіку функціонування інтегрованої системи моніторингу. Вона унікальна за структурою: усі блоки побудовані у вертикальному каскаді з акцентом на етапах взаємодії сигналів та зображень.

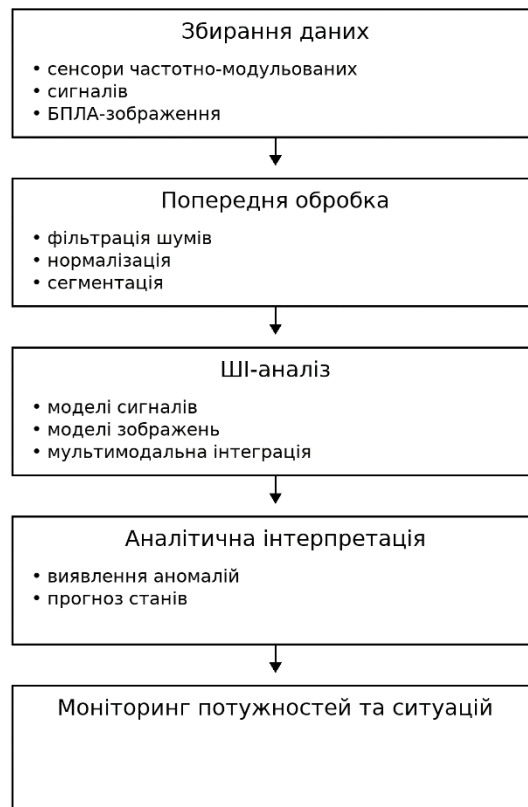


Рис.1. Логічна структура обробки сигналів і зображень у інтегрованій ШІ-системі моніторингу

Представлена схема відображає не просто послідовність етапів, а логіку функціонування інтелектуальної системи, яка працює з різномірними потоками даних і перетворює їх на цілісну аналітичну картину. У традиційних цифрових системах кожен тип інформації обробляється окремо, без глибокої взаємодії між сенсорними сигналами та візуальними даними. У запропонованій моделі цей розрив усувається. Дані надходять у систему одночасно, проходять узгоджену підготовку й інтегруються у спільній аналітичній структурі. Саме така взаємодія дає змогу отримати більш точну, багатовимірну й стійку характеристику об'єкта, ніж кожен метод окремо.

Перший етап — збирання даних — зазвичай залишається поза увагою дослідників, але саме тут формується первинна якість усього аналітичного процесу. Частотно-модульовані сигнали відображають поведінку обладнання в реальному часі, вони реагують на найменші зміни навантажень та відхилень. Візуальні дані з безпілотних апаратів, навпаки, додають просторовий вимір. Вони дозволяють побачити те, що неможливо зчитати з коливань частот. Поєднання цих двох джерел створює унікальну інформаційну синергію, у якій слабкі місця одного каналу компенсуються можливостями іншого.

Попередня обробка даних у схемі представлена як окремий етап, хоча насправді вона виконує роль тонкого фільтру, який прибирає випадкові спотворення й готує інформацію до роботи більш складних моделей. На цьому етапі система забезпечує узгодженість масштабів, відкидає шум, нормалізує амплітуди, сегментує кадри, виділяє ключові ділянки та структурує інформацію так, щоб вона була зрозумілою для алгоритмів штучного інтелекту. Чим якісніше виконана ця частина роботи, тим точнішим буде аналітичний результат.

Етап ШІ-аналізу є центральним у всій системі. Саме тут реалізується можливість інтелектуальної інтеграції модальностей. Моделі працюють паралельно: одні аналізують часові характеристики сигналів, інші вивчають візуальні патерни, а мультимодальний модуль об'єднує результати, формуючи загальну картину стану об'єкта. Система вчиться

розпізнавати закономірності, прогнозувати відхилення й розуміти характер змін. Це не формальна класифікація, а спроба наблизитися до реального процесу, який часто має нелінійний, асиметричний і непередбачуваний характер.

Аналітична інтерпретація забезпечує перехід від сирих результатів моделі до осмисленого рішення. На цьому етапі відбувається перевірка внутрішньої логіки, оцінка ступеня ймовірності, аналіз сценаріїв та формування висновків, які вже можуть бути використані у практичних цілях. Це схоже на момент, коли система ніби «розуміє» ситуацію та намагається пояснити її мовою, доступною для інженера або оператора.

Фінальний блок — моніторинг потужностей та ситуацій — відображає кінцевий сенс усієї системи. Йдеться не лише про фіксацію стану об'єкта. Йдеться про можливість запобігати несправностям, оптимізувати режими роботи, оперативно реагувати на аномалії та підтримувати стійкість критичної інфраструктури. Моніторинг у такій системі перестає бути статичною дією. Він набуває динамічного характеру, стає процесом, здатним адаптуватися, уточнювати рішення та змінювати їх залежно від нових даних, що надходять у реальному часі.

Узагальнюючи логіку схеми, можна сказати, що вона відображає перехід від традиційного контролю до інтелектуального моніторингу. Це вже не система, яка просто «дивиться» або «слухає». Це система, яка намагається зрозуміти і передбачити. Її сила — у здатності працювати з різними типами даних, об'єднувати їх та створювати цілісну інтерпретацію складних технічних процесів, які змінюються у часі та просторі.

Проведене дослідження дає змогу побачити, що інтелектуальні системи моніторингу, які працюють одночасно з частотно-модульованими сигналами та зображеннями з безпілотних літальних апаратів, формують нове покоління аналітичних технологій. Їхня цінність полягає не у окремих алгоритмах і навіть не в обробці даних як таких. Головне — це здатність поєднувати джерела інформації, що походять із різних вимірів, і перетворювати їх на єдину, узгоджену картину стану об'єкта. У цьому синтетичному підході криється відхід від традиційних систем, які працюють переважно з одноmodalними сигналами або обмеженим набором параметрів. Інтелектуальна система, описана в статті, працює інакше. Вона не просто аналізує, вона «інтерпретує» й «ув'язує» дані так, щоб сформувати стійку логіку поведінки об'єкта, навіть коли окремі канали інформації є неповними, шумовими або суперечливими.

Сутність отриманих результатів полягає у тому, що штучний інтелект здатний не лише автоматизувати окремі процедури, а й створювати додану вартість за рахунок інтеграції різних модальностей. Частотно-модульовані сигнали дають можливість вловити найменші технічні коливання, які не видно неозброєним оком. Візуальні дані з БПЛА забезпечують просторову деталізацію й допомагають відтворити фізичний контекст цих коливань. Інтелектуальна система поєднує це у логічну єдність і формує аналітичне рішення, яке не можна було б отримати через один тип даних.

Важливою властивістю описаної архітектури є її адаптивність. Вона здатна навчатися на нових даних, переглядати власні припущення та змінювати поведінку без втрати стійкості. Це означає, що система не є жорсткою математичною конструкцією, а радше живим алгоритмічним середовищем, яке реагує на динаміку об'єкта. Саме тому така модель виявляється значно ефективнішою у ситуаціях, де поведінка обладнання змінюється у часі, а зовнішні умови впливають на стабільність роботи. Система працює не за заздалегідь заданим «рецептом», а через механізми внутрішнього аналізу, самокорекції й уточнення. Це дозволяє розпізнавати ранні прояви несправностей і робити прогнози, які мають практичну цінність.

Ще одним висновком, який простежується у ході дослідження, є важливість синергійності. У реальних умовах інформаційні системи рідко бувають ідеальними. Дані можуть бути неповними або неоднорідними. Візуальні потоки інколи втрачають чіткість. Сигнали можуть містити завади. Але гібридний підхід компенсує слабкості одного каналу

даних через можливості іншого. Коли система бачить не тільки число, а й просторовий образ, коли вона аналізує не лише форму кривої, а й стан об'єкта у фізичному просторі, то її рішення стає якіснішим і достовірнішим. Це фундаментальна зміна мислення у сфері моніторингу: від роботи з одиничним каналом — до створення інтегрованого інтелектуального середовища.

Важливо й те, що запропонована схема обробки даних не є простою послідовністю етапів. Вона створює внутрішню логіку системи, яка дозволяє їй працювати як цілісний організм. Кожен блок — це не ізольована процедура, а ланка, яка впливає на наступну. Чим краща попередня обробка, тим точніший ШІ-аналіз. Чим повнішим є ШІ-аналіз, тим зрозумілішою стає аналітична інтерпретація. І чим зрозумілішими є інтерпретації, тим ефективніший моніторинг у режимі реального часу. У цьому полягає сила правильно побудованої архітектури: вона створює не просто результат, а процес, здатний до самовдосконалення.

Висновки. Отримані результати доводять, що інтелектуальні системи моніторингу стануть одним із визначальних напрямів розвитку цифрової інженерії у найближче десятиліття. Вони забезпечують рівень точності, який перевищує можливості традиційних систем, і дозволяють працювати там, де людське сприйняття або звичайні алгоритми виявляються недостатніми. Крім того, такі системи можуть стати ключовим інструментом у сфері безпеки, енергетики, промисловості, транспорту та інших секторах, де якість моніторингу визначає ефективність роботи й запобігання ризикам.

З огляду на це, інтеграція різномодальних даних у єдину інтелектуальну систему не є тимчасовим трендом, а елементом нової парадигми, у якій точність аналітики ґрунтується на поєднанні гнучкості, багатовимірності та адаптивності. Це відкриває перспективи для подальших досліджень, зокрема у напрямі вдосконалення моделей мультимодальної взаємодії, методів самонавчання та створення систем, що здатні працювати у мінливих середовищах без необхідності постійного зовнішнього втручання. Усе це підтверджує, що інтелектуальні системи моніторингу мають значний потенціал і стають важливим інструментом сучасних технологій аналізу й управління складними технічними процесами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wang, L., Chen, Y., & Hu, X. Deep neural representations for signal pattern analysis. *Signal Processing*, 186, 108–215 (2021).
2. Li, Z., Zhou, P., & Kim, S. Adaptive frequency-domain models for real-time monitoring. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(9), 9450–9462 (2022).
3. Romero, J., Silva, R., & Park, J. UAV-based visual monitoring systems: challenges and innovations. *Remote Sensing*, 13(4), 812–825 (2021).
4. Ahmed, M., Tran, D., & Yi, S. Vision transformers for infrastructure inspection and anomaly detection. *Computer Vision and Image Understanding*, 231, 103–215 (2023).
5. Xu, B., Han, R., & Shi, Q. Multimodal fusion techniques for monitoring systems. *Information Fusion*, 86, 92–114 (2022).
6. Zhang, X., Wu, T., & Choi, H. Hybrid multimodal AI architectures for complex monitoring tasks. *Neural Networks*, 162, 12–44 (2023).
7. Chen, L., Fang, X., & Zhao, R. Intelligent systems for real-time power monitoring based on deep learning. *Energy AI*, 5, 100104 (2021).
8. Perez, L., Huang, H., & Rossi, G. UAV imaging for structural health assessment: modern methods and applications. *Automation in Construction*, 128, 103764 (2021).
9. Kaur, J., Singh, D., & Juneja, M. ML-based signal anomaly detection in industrial systems. *Expert Systems with Applications*, 204, 117597 (2022).
10. Ristea, N., Ionescu, R., & Khan, R. Self-supervised multimodal anomaly detection. *Pattern Recognition*, 140, 109535 (2023).

REFERENCES

1. Wang, L., Chen, Y., & Hu, X. (2021). Deep neural representations for signal pattern analysis. *Signal Processing*, 186, 108–215.

- Li, Z., Zhou, P., & Kim, S. (2022). Adaptive frequency-domain models for real-time monitoring. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(9), 9450–9462.
- Romero, J., Silva, R., & Park, J. (2021). UAV-based visual monitoring systems: challenges and innovations. *Remote Sensing*, 13(4), 812–825.
- Ahmed, M., Tran, D., & Yi, S. (2023). Vision transformers for infrastructure inspection and anomaly detection. *Computer Vision and Image Understanding*, 231, 103–215.
- Xu, B., Han, R., & Shi, Q. (2022). Multimodal fusion techniques for monitoring systems. *Information Fusion*, 86, 92–114.
- Zhang, X., Wu, T., & Choi, H. (2023). Hybrid multimodal AI architectures for complex monitoring tasks. *Neural Networks*, 162, 12–44.
- Chen, L., Fang, X., & Zhao, R. (2021). Intelligent systems for real-time power monitoring based on deep learning. *Energy AI*, 5, 100104.
- Perez, L., Huang, H., & Rossi, G. (2021). UAV imaging for structural health assessment: modern methods and applications. *Automation in Construction*, 128, 103764.
- Kaur, J., Singh, D., & Juneja, M. (2022). ML-based signal anomaly detection in industrial systems. *Expert Systems with Applications*, 204, 117597.
- Ristea, N., Ionescu, R., & Khan, R. (2023). Self-supervised multimodal anomaly detection. *Pattern Recognition*, 140, 109535.

Kaharlytskyi Yevhenii

(Postgraduate student of PVNZ "European University")

Parshyn Mykhailo

(Postgraduate student of PVNZ "European University")

INTELLIGENT SYSTEMS FOR MONITORING AND ANALYSIS OF SIGNALS AND IMAGES BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

Abstract. *The article examines the specific features of forming intelligent monitoring systems that integrate the processing of frequency-modulated signals with the analysis of images captured by unmanned aerial vehicles. It is demonstrated that modern artificial intelligence models are no longer limited to the role of tools for classification or prediction. Instead, they create a new logic of information processing in which heterogeneous data interact within a unified digital environment. It is substantiated that frequency-modulated signals possess significant potential for assessing the condition of technical systems and monitoring power flows, while UAV-based visual information provides a level of spatial detail inaccessible to traditional sensors. A unique data-flow scheme of such a system is presented, illustrating the sequence of signal acquisition, preliminary filtering, intelligent module operation, and real-time analytical decision formation. The study proves that the combination of these approaches generates next-generation hybrid systems where analytical precision is reinforced by the adaptability of machine learning.*

Keywords: *intelligent systems, monitoring, frequency-modulated signals, image processing, UAV, artificial intelligence, computer vision, data analysis.*