

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Національний науковий центр «Інститут метрології»
м. Харків**

**Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»**

Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених

**«Метрологічні аспекти прийняття рішень
в умовах роботи на техногенно небезпечних
об'єктах»**

Згідно з планом проведення міжнародних, всеукраїнських науково-практичних та науково-методичних конференцій і семінарів на базі Харківського національного автомобільно-дорожнього університету у 2025 році (Посвідчення УкрІНТЕІ № 799 від 09 грудня 2024 року)

**4 листопада 2025 р.
м. Харків, Україна**

Організаційний комітет конференції

Богомолів Віктор Олександрович	- голова організаційного комітету, ректор ХНАДУ (м. Харків), професор
Дмитрієв Ілля Андрійович	- заступник ректора з наукової роботи ХНАДУ (м. Харків), професор
Єфименко Олександр Володимирович	- декан механічного факультету ХНАДУ (м. Харків), професор
Богатов Олег Ігоревич	- відповідальний секретар конференції, завідувач кафедри метрології та безпеки життєдіяльності ХНАДУ (м. Харків), доцент

ЗМІСТ

	Стор.
Секція 1 Вимірювальні інформаційні технології на техногенно небезпечних об'єктах	
Ганус А. В., Роянов О. М. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ЗАГАЗОВАНOSTІ РЕЗЕРВУАРІВ ЗБЕРІГАННЯ ПАЛИВА	7
Дьомінов Д. І. ВИКОРИСТАННЯ ЛОКАЛЬНОЇ КОРЕЛЯЦІЇ МІЖ СИГНАЛАМИ У ВІКНАХ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ШВИДКИХ ЗМІНЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ	10
Клягін П. В. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНТУРІВ ОБ'ЄКТІВ В МАТРИЦІ ВІДЕОКАМЕРИ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ЕВКЛІДОВОЇ ВІДСТАНІ МІЖ РЯДКАМИ І СТОВПЦЯМИ ПІДМАТРИЦЬ	12
Лабур Р. Ю., Богатов О. І. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ІЗ ГЕТЕРОГЕННИМИ ДАТЧИКАМИ	14
Масляник Д. К., Петрукович Д. Є. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ	17
Перевозник П. О., Медведовська Я. С. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	21
Петровський І. М., Медведовська Я. С. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ПРИ НИЗЬКОМУ СПІВВІДНОШЕННІ СИГНАЛ/ШУМ	25
Сокач А. І., Кравцов М. М. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	29
Філатов Є. А., Кравцов М. М. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ У ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОМУ ЦЕХУ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА	34
Хоменко Ю. С. МОДЕЛЬ РОЗПІЗНАВАННЯ НАЗЕМНИХ ОРІЄНТИРІВ АВТОНОМНИМИ МОБІЛЬНИМИ РОБОТАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ	39
Шевченко Я. С., Богатов О. І. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ У ДИНАМІЧНОМУ РЕЖИМІ	42

Секція 2 Пристрої і методи вимірювання та контролю параметрів потенційно небезпечних процесів. Метрологічне забезпечення безпеки життєдіяльності	
Бугайчук Н. Р., Тичков В. В., Гальченко В. Я., Трембовецька Р. В. ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИХРОСТРУМОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ НА КОНВЕЄРНИХ ЛІНІЯХ	47
В'яла О. А., Коваль А. О. АДАПТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ ШУМІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ	53
Коршун Є. А., Тичков В. В., Гальченко В. Я., Трембовецька Р. В. ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТРОЛЮ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІОНСЕЛЕКТИВНИХ СЕНСОРІВ	58
Рудаков С. В., Старченко М. В. МЕТОДИКА ВИЯВЛЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕННЯ КАБЕЛЬНИХ ВИРОБІВ НА ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСАХ	62
Тичков Д. В., Бондаренко М. О. ПОБУДОВИ, АНАЛІЗ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДОСЛІДЖЕНЬ В СЕРЕДОВИЩІ DATA MINING WORKSPACES	67
Тичкова Н. Б., Гальченко В. Я., Трембовецька Р. В., Тичков В. В. РОЗРОБКА МЕТОДУ ОДНОЧАСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛІВ МАТЕРІАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ В ПРИПОВЕРХНЕВІЙ ЗОНІ ПЛАСКИХ СТРУМОПРОВІДНИХ ОБ'ЄКТІВ	71
Коваль Д. О., Штих С. О., Коваль А. О. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ТА КОРЕКЦІЇ ПОХИБОК ЮСТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ	76
Секція 3 Проблемні питання прийняття рішень	
Бажан Є. С., Грайворонська І. В. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ ДАНИХ У ПРОЦЕСІ ПРОМИСЛОВОЇ ОБРОБКИ	80
Блажко С. С., Олійник Л. Г., Коваль О. А. МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ В МУЛЬТИСЕНСОРНІЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ СИСТЕМІ ТИСКУ	83
Стрелець В. В., Рябов О. Д., Коваль О. А. МЕТОД ПОЯСНЮВАЛЬНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБРОБКИ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ	87
Ус М. О., Грайворонська І. В. ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ДАНИХ	91
Швидкий М. О., Роянов О. М. СПОСОБИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРОМИСЛОВИХ ЗОН	93

Шнурко І. О., Петрукович Д. Є. ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕГРАДАЦІЇ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ В СИСТЕМІ ДОРОЖНЬОЇ МАШИНИ	96
Ялова К. А. ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У АІ-АСИСТОВАНИЙ ДІАГНОСТИЦІ ЗАХВОРЮВАНЬ ШКІРИ	100
Секція 4 Ліквідація наслідків аварій на техногенно небезпечних об'єктах	
Богомол Д. С., Черепньов І. А., Пісня Л. А. АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ НА ПРАЦІВНИКІВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	107
Волчанов Д. В., Кравцов М. М. ЕКОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ: ШЛЯХ ДО ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ	111
Курилюк О. М. ЛІКВІДАЦІЯ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ НА ТЕХНОГЕННО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОНОМНОЇ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ	114
Нечаус А. О., Кравцов М. М. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАТЧИКІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ	117
Попко С. О., Черепньов І. А., Пісня Л. А. СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ТЕХНІКА ЯК ПРИЧИНА ПОЖЕЖ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ	123
Сальник О. В., Табуненко В. О. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ	126
Толмачов Д. М., Кравцов М. М. ЕКОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ: ШЛЯХ ДО ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ	131
Яровий О. В., Кравцов М. М. ЗАСТОСУВАННЯ ДРОНІВ І РОБОТОТЕХНІКИ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ	135

Секція 1

Вимірювальні інформаційні технології на техногенно небезпечних об'єктах

*Ганус А. В., здобувач вищої освіти,
науковий керівник Роянов О. М., к.т.н., доцент,
доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ЗАГАЗОВАНOSTІ РЕЗЕРВУАРІВ ЗБЕРІГАННЯ ПАЛИВА

Зберігання нафтопродуктів і палива у великих резервуарних парках є критично важливою складовою паливно-енергетичної інфраструктури. Одним із ключових ризиків при експлуатації таких об'єктів є накопичення вибухонебезпечних газових сумішей у внутрішньому об'ємі резервуарів та ззовні. Витоки парів вуглеводнів, зміни температури, тиск та порушення герметичності конструкцій створюють умови для формування небезпечних концентрацій.

Традиційні методи контролю базуються на періодичних вимірюваннях або локальних датчиках, що не завжди забезпечують вчасне виявлення загроз. У цьому контексті інтелектуальні інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) виступають сучасним рішенням, яке поєднує сенсорні технології, алгоритми штучного інтелекту, засоби телеметрії та автоматизованого управління.

Під час зберігання нафтопродуктів у резервуарних парках завжди існує небезпека вибухів та пожеж. Навіть короточасне перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) може призвести до аварій. Викиди вуглеводнів забруднюють атмосферу та ґрунтові води. Державні та міжнародні стандарти вимагають постійного моніторингу та автоматизованого контролю. З часом резервуари втрачають герметичність під впливом екстремальних температур, вібрацій та корозії, тому вкрай важливо забезпечити безперервний у часі контроль стану загазованості

резервуарних парків. Це є складним процесом, який людина-оператор навіть за допомогою технічних засобів не в змозі здійснити.

Резервуари за час використання потребують періодичного обслуговування відповідно регламенту. Резервуари також потребують проведення періодичних або позапланових ремонтних робіт.

Для перебування ремонтним підрозділам всередині резервуарів необхідно створити умови, які будуть відповідати вибухопожежобезпечним нормам та санітарним нормам [1, 2]. Процес визначення досягнення припустимих значень концентрацій залишків нафтопродуктів завжди проводився за участю людини-оператора, що підвищує ризик отруєння працівників та виникнення вибуху або пожежі. З метою зменшення цього ризику пропонується максимально виключити контакт персоналу із залишками нафтопродуктів шляхом впровадження вимірювальної системи загазованості резервуарів.

Склад типової ПВС для контролю загазованості резервуарів включає:

– Сенсорний рівень:

- газоаналізатори (інфрачервоні, каталітичні, електрохімічні);
- датчики температури, тиску, вологості;
- вбудовані системи самодіагностики.

– Комунікаційний рівень:

- протоколи *Modbus*, *Profibus*, *OPC UA*;
- бездротові технології (*LoRaWAN*, *NB-IoT*) для віддалених

об'єктів.

– Аналітичний рівень:

- алгоритми машинного навчання для прогнозування концентрацій:
- нейронні мережі для виявлення аномалій;
- Байєсівські моделі для оцінки ймовірності аварійних сценаріїв.

– Рівень управління та візуалізації:

- SCADA-системи для диспетчерського контролю;
- інтелектуальні панелі з відображенням трендів, карт ризику;
- автоматизовані сигнали тривоги та запуск систем вентиляції/інертизації.

Під час впровадження системи ІВС слід приділити увагу [3-6]:

- енергозбереженню – використовувати сенсор з низьким споживанням енергії;
- надійності – резервувати канали зв'язку та дублювати критичні датчики;
- кібербезпеці – захист від несанкціонованого доступу до даних;
- масштабованості – можливість інтеграції з іншими системами промислової безпеки.

Інтелектуальні інформаційно-вимірювальні системи загазованості резервуарів зберігання палива є ключовим елементом сучасної індустріальної безпеки. Вони дозволяють:

- своєчасно виявляти небезпечні концентрації;
- прогнозувати розвиток аварійних ситуацій;
- автоматизувати процеси реагування;
- забезпечувати відповідність міжнародним стандартам.

Таким чином, впровадження ІВС не лише підвищує рівень безпеки, але й оптимізує експлуатаційні витрати, знижує екологічні ризики та створює основу для цифрової трансформації паливно-енергетичного сектору.

Список використаної літератури:

1. Про затвердження Інструкції про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України: наказ Мінпаливенерго України, Мінтрансзв'язку України, Мінекономіки України, Держспоживстандарту України від 20.05.2008 № 40281/171/578/155. *Офіційний вісник України*. 2008. №68. С.85.

2. ДСТУ Б В.2.6-183:2011. Резервуари вертикальні циліндричні сталеві для нафти та нафтопродуктів. Загальні технічні умови. (ГОСТ 31385-2008, NEQ). [Чинний від 2012-01-10]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонрозвитку, будівництва та ЖКГ України, 2012, №3.

3. ISO 5167-1:2022. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full. Part 1: General principles and requirements. – Geneva: International Organization for Standardization, 2022. – 118 p.

4. ISO 5167-2:2003. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full. Part 2: Orifice plates. – Geneva: International Organization for Standardization, 2003. – 64 p.

5. ISO 5167-3:2003. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full. Part 3: Nozzles and Venturi nozzles. – Geneva: International Organization for Standardization, 2003. – 68 p.

6. ISO 5167-4:2003. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full. Part 4: Venturi tubes. – Geneva: International Organization for Standardization, 2003. – 52 p.

Дьомінов Д. І., студент 6-го курсу

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВИКОРИСТАННЯ ЛОКАЛЬНОЇ КОРЕЛЯЦІЇ МІЖ СИГНАЛАМИ У ВІКНАХ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ШВИДКИХ ЗМІНЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ

Для отримання інформації про стан технічного об'єкту необхідно аналізувати всі характерні особливості сигналів, що формуються цим

об'єктом. Однією з таких особливостей є швидкі змінювання параметрів сигналів, які іноді називаються «стрибками». Виявлення стрибків параметрів сигналів традиційними методами в багатьох випадках є ускладненим, оскільки вони є непомітними у спектрі сигналу. В доповіді аналізується метод віконного виявлення стрибків амплітуди сигналів. З фізичних міркувань зрозуміло, що при появі стрибка амплітуди сигналу коефіцієнт кореляції випадкового сигналу між вікнами, що зсунуті між собою на деякий часовий інтервал, може істотно змінюватися. Це свідчить про те, що стрибок амплітуди сигналу породжує стрибок коефіцієнта кореляції сигналу у сусідніх вікнах. Відповідальною операцією є визначення ширини вікон. При великій ширині вікна стрибки сигналів згладжуються і змін коефіцієнта кореляції не буде. Якщо встановлена мала ширина вікна, що вкладається в тривалість стрибка, то це також може привести до втрати інформації про стрибок амплітуди. В доповіді обґрунтовані вимоги щодо визначення ширини вікон. Виявлення стрибка амплітуди можливо, якщо стрибок модуля коефіцієнта кореляції перевищує встановлений поріг. Вибір порогового значення має велике значення для оцінки ймовірності виявлення стрибка при фіксованій ймовірності хибної тривоги. Порогове значення розраховується методом мінімуму середнього ризику. Для визначення порогового значення модуля коефіцієнта кореляції сигналів у сусідніх вікнах застосований метод найменшого ризику. Проведення моделювання можливе тільки з урахуванням інформації про щільності ймовірностей модуля коефіцієнта кореляції при наявності стрибка амплітуди сигналу та при його відсутності. В доповіді рекомендовано підбирати такі значення параметрів, при яких існує чутливість модуля коефіцієнту кореляції сигналів у вікнах до стрибка амплітуди сигналів з урахуванням відношення сигнал/шум.

Література:

1. Poliarus O., Poliakov Y. The Methods of Radar Detection of Landmarks by Mobile Autonomous Robots // In: Sergiyenko, O., Flores-Fuentes, W., Mercorelli,

P. (eds). Machine Vision and Navigation. Springer, Cham. 2020. pp. 171-196. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22587-2_6

2. Poliarus O. V., Poliakov Ye. O., Lindner L. Determination of landmarks by mobile robot's vision system based on detecting abrupt changes of echo signals parameters // The 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Washington D. C., USA. 2018. pp. 3165-3170. DOI: <https://doi.org/10.1109/iecon.2018.8591362>

Клягін П. В., студент 6-го курсу

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНТУРІВ ОБ'ЄКТІВ В МАТРИЦІ ВІДЕОКАМЕРИ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ЕВКЛІДОВОЇ ВІДСТАНІ МІЖ РЯДКАМИ І СТОВПЦЯМИ ПІДМАТРИЦЬ

Виявлення меж наземних орієнтирів для автономних мобільних роботів на довільних кадрах відеокамери є ключовим аспектом завдань комп'ютерного зору. Традиційно, визначення їх контурів здійснюється з допомогою операторів Собеля та Кенні. Якість оцінювання форми об'єктів істотно залежить від неоднорідності фону, умов освітлення на місцевості, наявності опадів тощо. В доповіді запропоновано метод визначення зазначених контурів, що ґрунтується на попередньому розділенні матриці відеокамери на підматриці, а в кожній з них розраховується евклідова відстань між інтенсивностями пікселів в сусідніх рядках та окремо в сусідніх стовпцях. Оскільки метод не є чутливим до контурів об'єктів, які відрізняються від вертикальних та горизонтальних, він дозволяє знаходити тільки вертикальні та горизонтальні лінії контурів, тобто має фільтруючу властивість. Це є надзвичайно важливим чинником для виявлення

циліндроподібних наземних орієнтирів автономними мобільними роботами. Цей метод, як і всі інші, вимагає наявності різких меж між об'єктом і фоном, а також потребує попереднього налаштування, що зводиться до вибору розмірів підматриць та порогових значень евклідової відстані. На прикладі кривого стовбура дерева в доповіді приведена методика оцінювання його кривизни, яка дає можливість прийняття рішень апаратурою робота щодо приналежності такого об'єкту до наземного орієнтиру. Сутність цієї методики складається у визначенні горизонтальних координат крайніх лівої і правої точок контуру об'єкта, визначення середньої координати і проведення вертикальної лінії в цій координаті. Середньоквадратичне відхилення точок контуру від вертикальної координати є індикатором кривизни можливого наземного орієнтиру і для циліндроподібного об'єкта вона близька до нуля. Зазначені відхилення використовуються також для оцінки ймовірності правильного виявлення наземного орієнтиру при фіксованій ймовірності хибної тривоги. Для цього використовується метод перевірки статистичних гіпотез і мінімізується середній ризик.

Література:

1. O. Poliarus, Y. Poliakov, A. Lebedynskyi. Detection of landmarks by autonomous mobile robots using camera-based sensors in outdoor environments. – IEEE Sensors Journal, 2021, vol. 21, issue 10, pp. 11443-11450, doi: 10.1109/JSEN.2020.3010883
2. Oleksandr Poliarus and Yevhen Poliakov. Methodology for Developing Models of Image Color of Terrain with Landmarks for Their Detection and Recognition by Autonomous Mobile Robots. In the book: Measurements and Instrumentation for Machine Vision. – Taylor & Francis Group, 2024, 1-st edition, 29 pages. ISBN9781003343783. DOI: 10.1201/9781003343783-8

Лабур Р. Ю.

Студент гр. ММ-61-24, ХНАДУ, м. Харків

Богатов О. І.

Завідувач кафедри МБЖД, к.т.н., ХНАДУ, м. Харків

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ІЗ ГЕТЕРОГЕННИМИ ДАТЧИКАМИ

Розвиток сучасних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) характеризується інтеграцією сенсорів різної фізичної природи – тиску, температури, вологості, деформації, швидкості тощо. Такі гетерогенні сенсорні мережі формують надлишкову, корельовану та неоднорідну інформацію про об'єкт вимірювань. Забезпечення метрологічної надійності ІВС у таких умовах вимагає інтелектуальних методів оцінювання достовірності та узгодженості результатів, оскільки традиційні підходи калібрування та статистичного контролю часто не враховують міжсенсорну кореляцію, нелінійності каналів і динамічні зміни довірчих інтервалів. Останні дослідження у сфері *intelligent metrological assurance* показують ефективність машинного навчання, нечіткої логіки та байєсівських моделей для виявлення деградації датчиків, адаптивного оцінювання невизначеності та прогнозування відмов систем [1-3].

Мета дослідження: розроблення та дослідження інтелектуальної технології оцінювання метрологічної надійності ІВС із гетерогенними датчиками, що базується на поєднанні методів нечіткої оцінки достовірності, кореляційного аналізу та машинного прогнозування відмов сенсорних каналів у реальному часі.

Під метрологічною надійністю ІВС розуміють здатність системи зберігати свої метрологічні характеристики (точність, чутливість,

стабільність) у заданих межах протягом експлуатації. Для гетерогенних систем, де сенсорні канали відрізняються за фізичною природою та рівнем шумів, класичні методи оцінювання достовірності є недостатніми. Інтелектуальна технологія пропонує трирівневу архітектуру оцінювання.

1. Рівень первинних сенсорів – формування розширеного вектора вимірювань, попередня фільтрація та нормалізація.

2. Рівень оцінювання узгодженості – обчислення міжканальної кореляції, взаємної інформації та коефіцієнтів зважування.

3. Рівень інтелектуального аналізу – модуль нечіткої логіки оцінює рівень метрологічної надійності M_R за лінгвістичними змінними: висока, середня, низька.

На рис. 1 наведено приклад класифікації достовірності каналів за допомогою нечіткої системи логічного висновку, де результати класифікуються за трьома рівнями: висока, середня та низька достовірність. Ця класифікація використовується як вхід до системи ухвалення рішень, що дозволяє автоматично виключати з аналізу сенсори з низькою довірою.

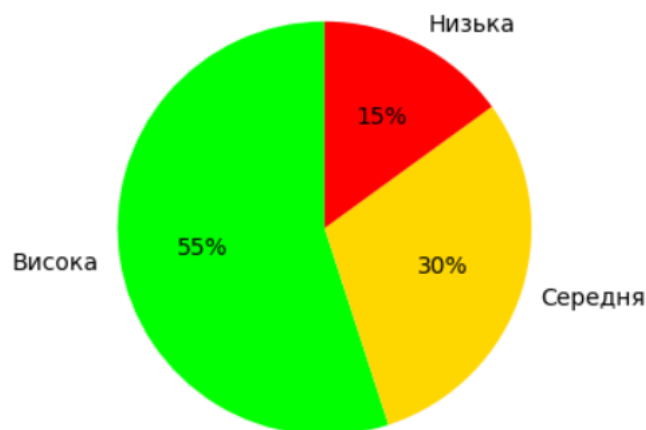


Рисунок 1 – Класифікація рівня достовірності каналів

Розроблена модель була апробована на даних багатоканальної ІВС, яка містила ультразвукові, оптичні та терморезистивні сенсори. Динаміка показника метрологічної надійності M_R у часі (див. рис. 2) демонструє

поступове зниження при тривалих циклах експлуатації, що відповідає деградації сенсорів, а також стабілізацію після автоматичного перенавчання моделі.

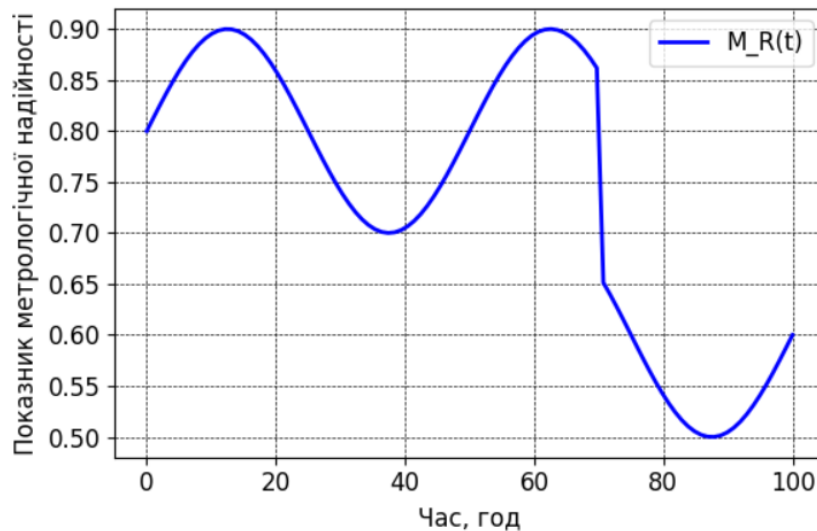


Рисунок 2 – Зміна показника метрологічної надійності у часі

Застосування інтелектуальної технології дозволило зменшити середню похибку вимірювань від 22 % до 28 %, підвищити коефіцієнт узгодженості каналів на 0,25 і збільшити середній рівень метрологічної надійності системи на 30 % порівняно з традиційними методами.

Висновки:

1. Інтелектуальна технологія оцінювання метрологічної надійності ІВС забезпечує адаптивне відстеження змін стану сенсорів.
2. Поєднання методів кореляційного аналізу, нечіткої логіки та машинного навчання підвищує точність та стабільність систем.
3. Запропонована технологія створює основу для побудови самокоригувальних метрологічно надійних систем нового покоління.

Перелік використаних джерел:

1. Yang J., Zhao X., Xu X. Intelligent reliability assessment of heterogeneous sensor systems based on data-driven fusion. Measurement. 2023. Vol. 213. Article 112795.

2. Bai Y., Li Z., Liu D. Machine-learning-based metrological reliability evaluation in smart measurement networks. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2023. Vol. 72. P. 1-10.
3. García D., Naya M. Á., Rodríguez A. J. Intelligent metrological assurance in industrial IoT: A review. Sensors. 2024. Vol. 24, No. 5. Article 1578.
4. Wang L., Cheng C., Guo F. Ensemble learning approach for fault prediction in multi-sensor fusion systems. Measurement Science and Technology. 2024. Vol. 35. Article 065103.
5. Zhou Y., Liang R., Chen M. Fuzzy–Bayesian inference for uncertainty evaluation in heterogeneous sensor systems. Measurement. 2024. Vol. 227. Article 114985.
6. Petrov I., Novak P., Kovalchuk O. Hybrid fuzzy-ML method for adaptive reliability estimation of smart sensor networks. IEEE Access. 2025. Vol. 13. P. 18542-18555.

Масляник Д. К., студент ХНАДУ, м. Харків
Петрукович Д. Є., к.т.н., доц. ХНАДУ, м. Харків

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

У роботі представлено теоретичні основи побудови інтелектуальної технології підвищення точності вимірювання температури на основі адаптивних та нейромережевих методів оброблення сигналів. Розроблено математичну модель вимірювального каналу, яка враховує нелінійність, стохастичні збурення та деградаційні процеси сенсорів.

Метою дослідження є створення теоретичної основи побудови інтелектуальної технології підвищення точності вимірювань температури

шляхом адаптивної обробки сигналів і компенсації похибок сенсорів у режимі реального часу.

Для підвищення точності вимірювання температури в каналі вимірювальної системи дорожньої техніки застосовується комбінація класичних і інтелектуальних методів фільтрації.

Сигнал на виході температурного сенсора описується функцією:

$$U(t) = f(t) + \varepsilon(t), \quad (1)$$

де $f(T)$ – детермінована функція перетворення,

$\varepsilon(t)$ – сумарна похибка вимірювання, що містить випадкову та систематичну складові:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_s(t) + \varepsilon_r(t). \quad (2)$$

Систематичні похибки можуть виникати внаслідок дрейфу чутливості, температурної нестабільності, старіння матеріалів, тоді як випадкові – через флуктуаційні шуми електронних компонентів і впливи середовища.

У загальному вигляді похибку вимірювального каналу можна оцінити за середньоквадратичним критерієм:

$$\sigma_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T}_i)^2}, \quad (3)$$

де T_i – істинні значення температури,

$\bar{T}_i$ – оцінені вихідні дані після корекції.

Для зменшення впливу шумів та перехідних процесів пропонується використати адаптивний фільтр Вальтера, який змінює свої коефіцієнти залежно від поточного рівня сигналу та шуму.

Його дискретна форма записується як:

$$y(k) = \sum_{i=1}^{M-1} \omega_i(k) \cdot x(k-i), \quad (4)$$

де $\omega_i(k)$ – коефіцієнти фільтра, що адаптуються за правилом:

$$\omega_i(k+1) = \omega_i(k) + \mu \cdot e(k) \cdot x(k-i), \quad (5)$$

де $e(k) = d(k) - y(k)$ – похибка між еталонним і поточним сигналом,;

μ – коефіцієнт навчання.

Такий підхід дозволяє відстежувати зміни параметрів сенсора у часі та підтримувати високу точність вимірювання навіть за нестабільних умов експлуатації.

Для усунення нелінійності і складної взаємозалежності між температурою, вихідним сигналом та зовнішніми впливами використовують багат шаровий перцептрон (MLP).

Модель навчена за методом зворотного поширення похибки, з функцією активації типу ReLU або Sigmoid. Вхідними параметрами виступають поточне значення сигналу $U(t)$, температура навколишнього середовища T_{env} , а також значення сигналу, що відображають деградаційні процеси.

Нейромережа виконує інтерполяцію між експериментально отриманими характеристиками та прогнозує компенсоване значення температури:

$$\bar{T} = F_N(U, T_{env}, t), \quad (6)$$

де F_N – функція, реалізована нейронною мережею.

Навчання здійснюється на основі мінімізації функціоналу похибки:

$$J = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T}_i)^2. \quad (7)$$

Узагальнена структурна схема інтелектуальної системи вимірювання температури яка включає наступні блоки: первинний перетворювач температури (сенсор), модуль збору та оцифрування сигналу, адаптивний фільтр попередньої обробки, нейромережевий модуль компенсації похибок, блок самодіагностики та само калібрування, інтерфейс обміну з системою керування представлена на рисунку 1.

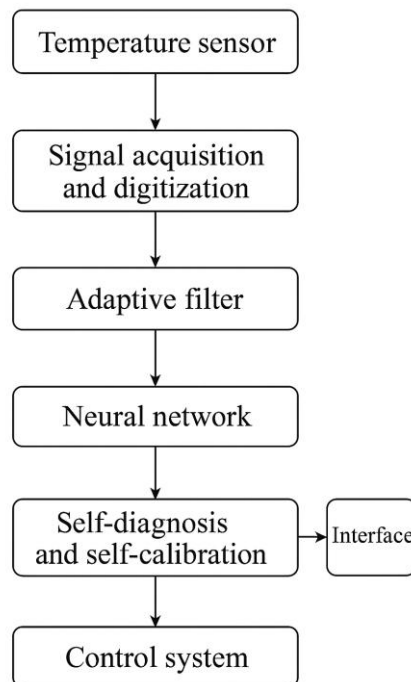


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема інтелектуальної системи вимірювання температури.

Інтелектуальний рівень системи реалізує функції ідентифікації відхилень характеристик сенсора, прогнозування дрейфу та автоматичного налаштування параметрів обробки сигналу.

Запропонована технологія може бути реалізована в системах контролю температури дорожніх машин, енергетичних установок, технологічних процесів із високими вимогами до точності.

Даний підхід забезпечує:

- підвищення точності вимірювання до 30-40 % порівняно з традиційними методами;
- зменшення впливу деградації сенсорів на результати;
- можливість само діагностики й корекції в режимі реального часу.

Список літератури:

1. Гавриленко, В. В. Інформаційно-вимірювальні системи: підручник. – Київ: Вища школа, 2020. – 356 с.
2. Беляєв, В. П., Литвиненко, С. О. Сенсорні системи та вимірювальні перетворювачі. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 284 с.
3. Пінчук, В. І., Якушенко, О. М. Адаптивні алгоритми цифрової фільтрації сигналів. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 215 с.

Перевозник П. О.¹, Медведовська Я. С.²

¹здобувач гр.ММ-61-24, ²доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності, к.т.н., доц., ХНАДУ

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – це концепція, яка передбачає об'єднання фізичних об'єктів із цифровими системами через мережеві

технології для забезпечення автоматизованого збору та обміну даними [1]. За оцінками аналітичних агентств, кількість підключених IoT-пристроїв у світі перевищить 30 млрд до 2030 року, що свідчить про стрімке зростання цього сегмента технологій.

В умовах промислової автоматизації IoT стає ключовим інструментом для реалізації концепції Industry 4.0 [2], що передбачає створення «розумних» підприємств (Smart Factory), здатних до самоорганізації та самодіагностики.

Типова архітектура системи IoT для моніторингу стану обладнання включає наступні рівні:

1. Рівень датчиків, що представляє собою фізичні датчики температури, тиску, вібрацій, вологості тощо.
2. Рівень комунікацій – мережеві протоколи, наприклад, MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), CoAP (Constrained Application Protocol), LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), NB-IoT (Narrow Band Internet of Things), що забезпечують передачу даних.
3. Рівень обробки даних – периферійні або хмарні обчислення (Edge та Cloud Computing), які здійснюють фільтрацію та аналіз інформації.
4. Рівень застосувань – програмні інтерфейси (Dashboard, SCADA, ERP), що відображають результати моніторингу користувачу.

Така багаторівнева структура дозволяє оптимізувати трафік, знизити затримки та забезпечити високу надійність системи.

Інформаційно-вимірювальні технології відіграють ключову роль у побудові IoT-систем. Вони забезпечують метрологічну достовірність вимірювань, калібрування сенсорів, оцінку похибок і варіацію даних.

Сучасні сенсорні вузли мають вбудовані мікроконтролери, які виконують попередню обробку сигналів та можуть взаємодіяти із хмарними платформами через протоколи IoT. Наприклад, система на базі Arduino + ESP32 здатна знімати тиск та температуру, передаючи дані до ThingSpeak чи Azure IoT Hub для подальшого аналізу.

Важливим етапом є застосування алгоритмів машинного навчання (ML) та штучного інтелекту (AI) для:

- виявлення аномалій у роботі обладнання;
- прогнозування відмов;
- оптимізації технічного обслуговування (Predictive Maintenance).

Прикладами таких моделей є:

- класифікатори SVM (Support Vector Machine) та Random Forest для ідентифікації відхилень;
- нейронні мережі LSTM (Long short-term memory) для аналізу часових рядів;
- методи Калмана для фільтрації шумів у вимірювальних каналах.

На підприємствах енергетичного та транспортного секторів упровадження IoT-рішень дозволило скоротити час виявлення несправностей на 30-40 %, зменшити витрати на ремонт та підвищити ефективність діагностики.

Пілотна система, реалізована на базі сенсорної мережі з 12 вузлів, демонструвала стабільну роботу при низькому рівні сигнал/шум ($\text{SNR} > 15$ дБ) завдяки використанню алгоритмів адаптивної фільтрації та регуляризації даних.

Таким чином, застосування Інтернету речей у моніторингу технічного стану обладнання забезпечує перехід від реактивного до превентивного та прогнозованого обслуговування, що сприяє підвищенню надійності, енергоефективності та безпеки виробничих процесів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення стандартів взаємодії IoT-пристроїв та впровадження національних метрологічних норм у сфері цифрових вимірювань.

Список використаної літератури:

1. ISO/IEC 30189-1. Internet of Things (IoT) – IoT-based management of tangible cultural heritage assets – Part 1: Framework. URL :

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/111472/f356b69fdf0f4a42a96c7ce9b7325473/ISO-IEC-TR-30189-1-2025.pdf>.

2. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. and Palaniswami, M. (2013) Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. *Future Generation Computer Systems*, 29. P. 1645-1660. DOI : 10.1016/j.future.2013.01.010.

3. Lee I., Lee K. Lee, I. and Lee, K. (2015) The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises. *Business Horizons*, 58. P. 431-440. DOI : 10.1016/j.bushor.2015.03.008.

4. Шабала Є. Є., Корійнічук Б. В. оптимізація паливних витрат літака цивільної авіації із застосуванням систем IoT. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2025. № 61. С. 219-225, DOI : 10.32347/24129933.2025.61.219-225.

5. Mazurenko, R. & Yeremenko, B. (2024). Intelligent traffic management system of a big city: ontology concept «decision models». *Management of Development of Complex Systems*, 57. P. 174-180. DOI : 10.32347/2412-9933.2024.57.174-180.

6. Cvetković, A., Radojčić, V., Adamović, S. (2021). Multi-factor Authentication for the Internet of Things. *XXII MEĐUNARODNI NAUČNI SKUP*, 22(7). P. 61-64. DOI : 10.7251/ZRSNG2101013C.

7. Hulak, H. M., Zhiltsov, O. B., Kyrychok, R. V., Korshun, N. V., & Skladannyi, P. M. (2024). Information and cyber security of the enterprise. Textbook. Lviv: Publisher Marchenko T. V.

8. L. S. Vailshery, «Internet of Things (IoT) and non-IoT active device connections worldwide from 2010 to 2025 (in billions) », 6 September 2022. URL : <https://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>.

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ПРИ НИЗЬКОМУ СПІВВІДНОШЕННІ СИГНАЛ/ШУМ

В умовах промислових, енергетичних та техногенно небезпечних об'єктів інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) часто працюють у середовищі з підвищеним рівнем електромагнітних завад, механічних вібрацій, температурних флуктуацій та інших факторів, що істотно впливають на якість сигналів сенсорів.

Відношення сигнал/шум (англ. Signal-to-Noise Ratio, SNR) у таких середовищах може бути нижчим 10 дБ, що ускладнює коректне відновлення вимірюваної величини [1].

Зазвичай SNR визначають у логарифмічній шкалі (децибел, дБ), як $SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right)$. Чим вище SNR, тим якісніше сигнал і тим менший вплив шуму на результат вимірювання, а при низькому SNR (<10 дБ) шум стає порівняним із сигналом або навіть перевищує його, що значно ускладнює точне відновлення сигналу.

У більшості промислових ІВС для зниження впливу шуму традиційно застосовують лінійні цифрові фільтри – фільтр низьких частот (ФНЧ, англ. low-pass filter), середнє ковзне (або рухоме середнє, англ. moving average, MA), фільтри Баттерворта, Чебишева, а також прості статистичні методи усереднення. Проте, в умовах низького відношення SNR (<10 дБ) ефективність таких підходів суттєво обмежена через низку причин.

Лінійні ФНЧ або смугові фільтри не можуть ефективно відокремити сигнал від шуму без значних спотворень корисної інформації, а при агресивному відсіченні високочастотної компоненти – втрачаються важливі динамічні характеристики сигналу, наприклад, фронти імпульсів у каналах тиску. Також більшість класичних фільтрів має фіксовані параметри (порядок, смугу пропускання, коефіцієнт згладжування), обрані за умов відносно сталого спектру шуму, але у реальних ІВС характеристики завад і сигналів змінюються у часі через коливання температури, старіння датчиків, зміну режимів роботи обладнання. Традиційні фільтри призначені лише для пригнічення шуму і не враховують нелінійно-інерційні спотворення вимірювального каналу, які можуть генерувати додаткові шуми.

Отже, традиційні методи не здатні забезпечити належну якість сигналу в умовах низького SNR, що обґрунтовує необхідність використання інтелектуальних алгоритмів обробки сигналів, які можуть одночасно відокремлювати сигнал і компенсувати динамічні спотворення.

В сучасних ІВС застосовують поєднання методів регуляризації та адаптивної фільтрації, які базуються на математичних моделях сигналу й каналу.

Задача відновлення сигналу $x(t)$ із зашумлених вимірювань $y(t)$ часто є некоректною: невелика зміна шуму може призводити до значних похибок.

Регуляризація (анг. Regularization) – це метод введення додаткових умов, які обмежують розв’язок і роблять його стійким до шуму [2].

У дослідженні запропоновано використовувати регуляризацію Тихонова або $L2$ -регуляризацію (англ. Tikhonov regularization або ridge regularization), що представляє собою мінімізацію функціоналу:

$$J(x) = \|Ax - y\|^2 + \lambda \|Lx\|^2,$$

де A - оператор вимірювального каналу;

L - опорна згладжування, наприклад, похідна;

λ - параметр регуляризації, що визначає компроміс між точністю апроксимації даних та згладженістю сигналу.

Метод ефективний для пригнічення високочастотного шуму й відновлення гладких сигналів у каналах тиску чи температури.

Фільтри Калмана (анг. Kalman Filter) – рекурсивний алгоритм оцінювання стану динамічної системи за зашумленими вимірюваннями, що базується на моделі стану:

$$x_{k+1} = F_k x_k + w_k, \quad y_k = H_k x_k + v_k,$$

де w_k, v_k - процесний і вимірювальний шуми з відомими або оціненими коваріаційними матрицями.

Класичний фільтр Калмана оптимальний для лінійних систем із гаусівським шумом. Ефективно пригнічує шум і відновлює корисну динаміку сигналу без значних фазових спотворень.

Розширений фільтр Калмана (англ. extended Kalman filter, EKF) використовується для нелінійних моделей вимірювальних каналів [3].

Адаптивний фільтр Калмана – це модифікація стандартного фільтра Калмана, яка автоматично адаптує свої параметри, зокрема матриці шуму процесу (Q) та вимірювань (R), для покращення точності оцінки стану динамічної системи в умовах невизначеності або зміни характеристик шуму. Це дозволяє фільтру ефективніше працювати в реальних умовах, де параметри шуму можуть не бути сталими, а змінюватися з часом.

Найбільшу ефективність при низькому SNR дає комбінований підхід:

1. На першому етапі – регуляризаційна реконструкція сигналу для стабілізації задачі та збереження структури.

2. На другому етапі – адаптивна фільтрація для усунення залишкових шумових складових.

Моделювання проводилось у середовищі MATLAB/Simulink (рис. 1). Графік на рис. 1, а) демонструє, наскільки шум спотворює сигнал при $\text{SNR} \approx 5$ дБ. Графік на рис. 1, б) показує, що після обробки комбінованим методом сигнал ближчий до істинного, ніж після звичайного ФНЧ Баттерворта.

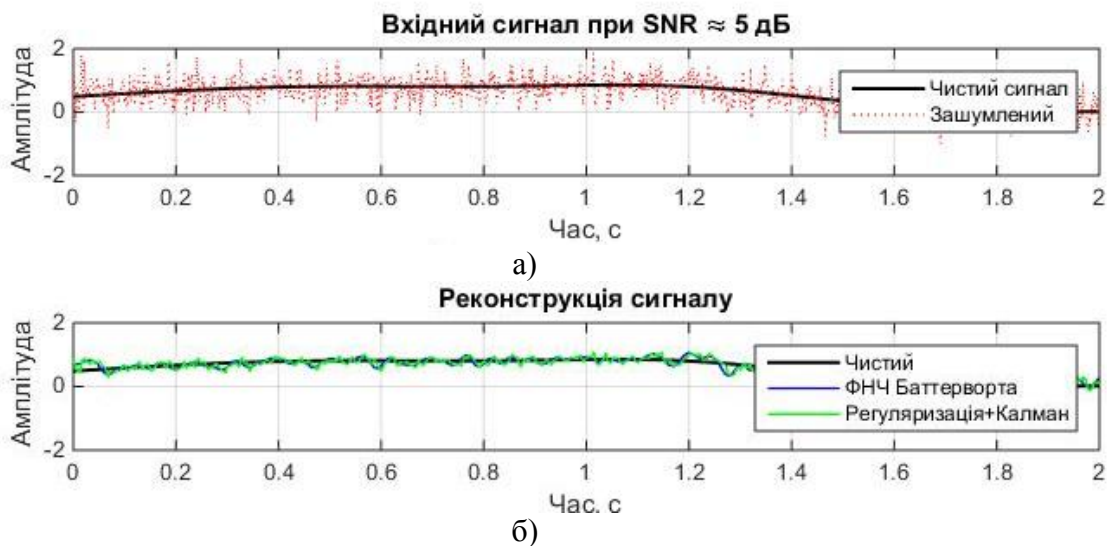


Рисунок 1 – Візуалізація порівняння використання класичного та комбінованого підходів

Реалізація алгоритмів у середовищі MATLAB/Simulink показала зниження середньоквадратичної похибки вимірювального каналу тиску на 25-40 % порівняно з традиційними ФНЧ Баттерворта при роботі з низьким SNR.

Список використаної літератури:

1. Jiaying Liu, Yong Liu, Liecheng Hu. Method of Weak Communication Signal Detection and Signal Quality Assessment at Low SNR. *SSPS '24: Proceedings of the 2024 6th International Symposium on Signal Processing Systems*. P. 6-10. DOI: 10.1145/3665053.3665057
2. T. A. Lahlou, A. V. Oppenheim. Trading Accuracy for Numerical Stability: Orthogonalization, Biorthogonalization and Regularization. *Conference: 2016*

IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). DOI: 10.1109/ICASSP.2016.7472578

3. L. Paninski, K. R. Rad, J. Huggins. Fast low-SNR Kalman filtering, with applications to high-dimensional smoothing. *Journal of Computational Neuroscience* 28: 211-28.

4. Yongming Li, Qingming Gui, Songhui Han, Yongwei Gu. Tikhonov Regularized Kalman Filter and Its Applications in Autonomous Orbit Determination of BDS. *WSEAS Transactions on Mathematics archive*. P. 10-20 (2023). DOI: 10.1364/JOSAA.476795

Сокач А. І., студ. гр. ММ-61-24

Кравцов М. М., доцент, к.т.н., наук. керівник

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Сучасне машинобудівне виробництво вимагає високої точності та стабільності технологічних процесів. Кліматичні параметри (температура, вологість, атмосферний тиск) суттєво впливають на: точність металообробки та зварювання. Зберігання матеріалів та готової продукції (корозія, деформація). Енергоспоживання систем опалення, вентиляції та кондиціонування (ОВК).

Проблема: традиційні методи контролю та реагування є реактивними, а не проактивними. Необхідне прогнозування для оптимізації.

Мета дослідження – розробка та адаптація інтелектуальних технологій для точного та середньострокового прогнозування ключових кліматичних параметрів у виробничих цехах машинобудівного підприємства.

Особливості кліматичних параметрів на підприємстві. Специфіка даних: вплив зовнішніх погодних умов + внутрішні джерела тепла/вологи (робота обладнання, технологічні процеси, кількість персоналу).

Вибір цільових параметрів для прогнозування (наприклад, температура в зоні високоточного обладнання).

Інтелектуальні технології для прогнозування. Обґрунтування вибору інтелектуальних методів (машинне навчання) над традиційними статистичними.

Обрані моделі: застосовані інтелектуальні технології: нейронні мережі (наприклад, LSTM або GRU для часових рядів); методи ансамблю (наприклад, Random Forest або Gradient Boosting). Авторегресійні моделі інтегрованого ковзного середнього (ARIMA/SARIMA) – як базовий рівень порівняння.

Джерело даних: опис системи збору даних (сенсори, їхнє розташування, частота вимірювання).

Етапи підготовки даних: збір, очищення та нормалізація часових рядів; інжиніринг ознак; лагові значення (попередні виміри); календарні ознаки (година доби, день тижня); зовнішні погодні дані (якщо доступні).

Навчання та тестування моделей: опис архітектури обраної моделі (наприклад, кількість шарів, функція активації, оптимізатор); методика крос-валідації для часових рядів.

Метрики оцінки якості прогнозування: середня абсолютна похибка (MAE); коренева середньоквадратична похибка (RMSE); коефіцієнт детермінації (R^2).

Аналіз результатів: порівняльна таблиця метрик для різних моделей; графічне зображення фактичних значень та прогнозованих значень на тестовому періоді; визначення оптимальної моделі та її переваг; аналіз періоду прогнозування (наприклад, 1 година, 6 годин, 24 години) та її точності.

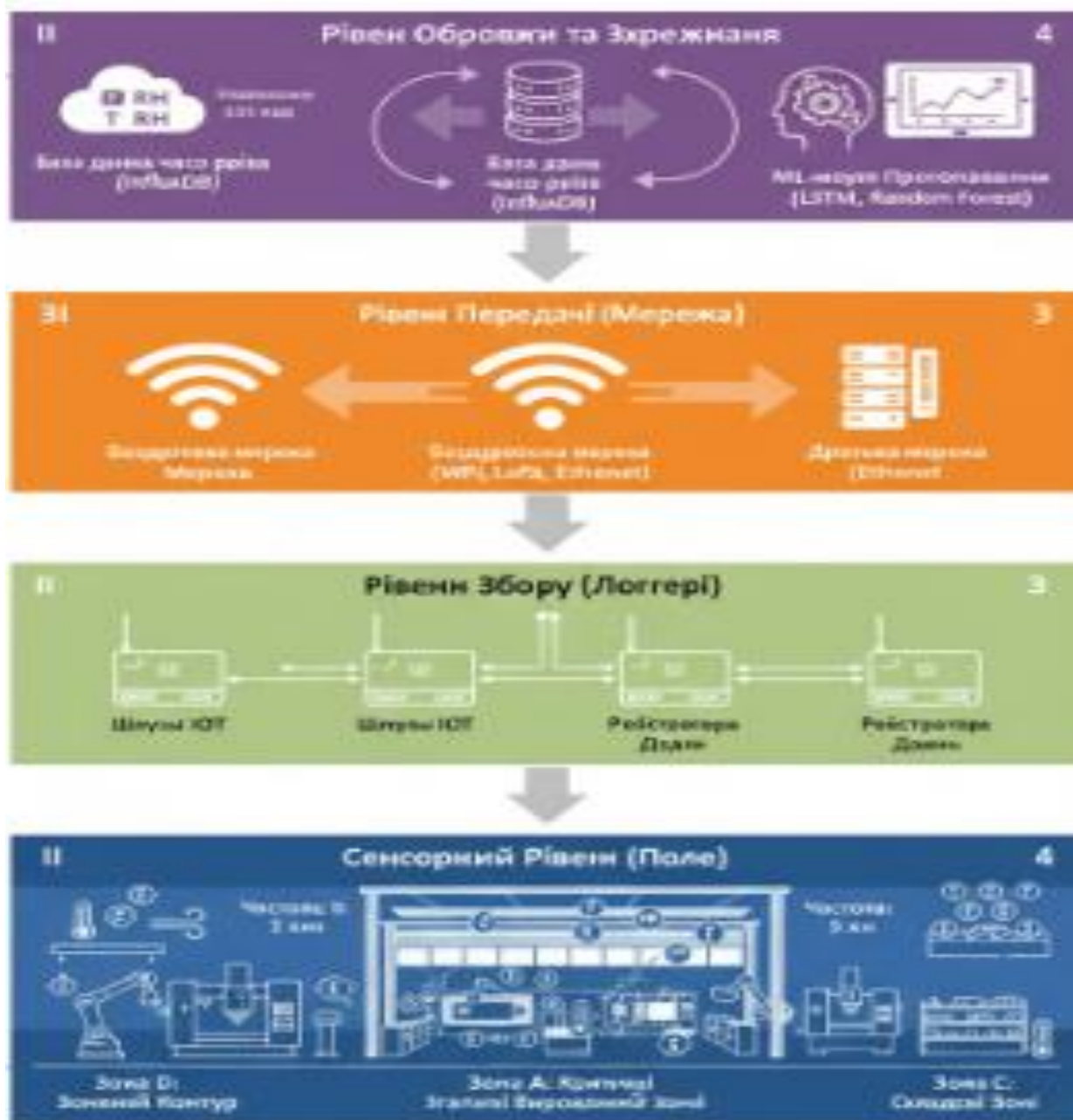


Рисунок 1 – Схема системи збору даних

Впровадження та економічний ефект: сценарії використання прогнозу – енергоефективність: оптимізація роботи систем ОВК – завчасне ввімкнення/вимкнення або зміна потужності систем; контроль якості – запобігання виходу кліматичних параметрів за допустимі межі в критичних зонах, попередження про необхідність коригування технологічного процесу. Управління ризиками – прогнозування умов, що сприяють корозії або термічній деформації.

Розрахунок економічного ефекту – оцінка потенційного зниження витрат на електроенергію; оцінка зниження відсотка браку:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{енергія}} + E_{\text{якість}} = E_{\text{впр}}$$

де $E_{\text{енергія}}$ – економія за рахунок зниження витрат на енергоспоживання системи ОВК;

$E_{\text{якість}}$ – економія за рахунок зниження втрат від браку та невідповідностей;

$E_{\text{впр}}$ – витрати на впровадження системи (капітальні та операційні).

Висновки: підтвердження досягнення поставленої мети; резюме про ефективність застосованої інтелектуальної технології; наприклад: "Модель LSTM продемонструвала найвищу точність прогнозування температури (RMSE) на 6-годинному горизонті, що достатньо для проактивного керування ОВК." Перспективи подальших досліджень - розширення кількості прогнозованих параметрів (концентрація CO₂, вібрація); інтеграція системи прогнозування безпосередньо в систему управління підприємством (SCADA/MES); використання глибших архітектур (Attention Mechanisms).

Список використаної літератури:

1. Хороша Н. В., Іванов О. С. Застосування рекурентних нейронних мереж (LSTM) для прогнозування нестационарних часових рядів. *Вісник технічних наук*. 2023. № 5. С. 45-56.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press. (Базове джерело з глибокого навчання).
3. Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2018). The M4 Competition: Results, findings, and conclusions. *International Journal of Forecasting*, 34(3), 802-808. (Огляд сучасних методів прогнозування часових рядів).

4. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice* (3rd ed.). OTexts. (Класичний посібник з прогнозування).
5. Smith, P. (2020). *Industrial IoT Sensors and Data Acquisition: A Practical Guide*. CRC Press.
6. Григоренко Л. В. Інтелектуальні сенсорні мережі для моніторингу виробничого середовища в умовах Інтернету речей. *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. 2021. № 3. – С. 112-120.
7. Коваленко Р. В., Петренко К. А. Вплив температурних коливань на точність обробки деталей на верстатах із ЧПК. *Механіка та машинобудування*. 2022. № 1. С. 78-85.
8. Wang, W., & Chen, G. (2019). Energy-saving control strategy for HVAC systems based on predicted thermal load using a data-driven approach. *Applied Energy*, 239, 1373–1385. (Дослідження про прогнозування для оптимізації ОВК).
9. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. (Нормативний документ, що регулює вимоги до управління виробничими процесами).
10. Brown, J. R. (2021). *Precision Manufacturing and Environmental Control*. Taylor & Francis. (Книга про необхідність контролю мікроклімату у високоточному виробництві).

Філатов Є. А., студ. гр. ММ-61-24

Кравцов М. М., доц., к.т.н., наук. керівник

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ У ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОМУ ЦЕХУ МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Актуальність проблеми – умови навколишнього середовища, зокрема вологість повітря, критично впливають на якість продукції, надійність обладнання та безпеку праці в електромеханічних цехах машинобудівних підприємств.

Негативний вплив високої вологості: корозія металевих частин, контактів та електропроводки. Погіршення ізоляційних властивостей діелектриків (включаючи повітря), що підвищує ризик коротких замикань та аварій. Утворення конденсату на точних механізмах і платах. Сприяння росту плісняви та грибків.

Оптимальний діапазон: зазвичай рекомендується підтримувати відносну вологість у межах 30-60 % (при температурі 15-25 °C).

Мета доповіді: обґрунтувати необхідність впровадження інтелектуальних систем моніторингу вологості та представити ключові аспекти їх реалізації у виробничих умовах.

Традиційні методи вимірювання та їх обмеження.

Психрометри: (наприклад, психрометр Августа або Ассмана) – вимірювання за різницею температур сухого та змоченого термометрів.

Обмеження: потребують ручного зняття показників або механізмів примусової циркуляції, не забезпечують безперервний автоматичний моніторинг.

Волосяні та плівкові гігрометри – використовують зміну фізичних розмірів гігроскопічних матеріалів (волосся, спеціальні пластикові нитки).

Обмеження – низька точність, повільна реакція, чутливість до забруднень та необхідність калібрування.

Ємнісні та резистивні датчики (сучасні): перетворення зміни електричних характеристик сенсора (ємності чи опору) під впливом вологи.

Обмеження: хоча вони є основою для інтелектуальних систем, їх застосування без обробки даних та мережевої інтеграції все ще є локальним.

Концепція інтелектуальної технології вимірювання.

Інтелектуальна технологія – це система, що поєднує високоточні сенсори, засоби збору, обробки, аналізу даних (зокрема, з використанням алгоритмів) та механізми прийняття рішень або автоматичного реагування.

1. Апаратна база – мережа датчиків

Тип сенсорів: рекомендується використання ємнісних або резистивних цифрових датчиків вологості (наприклад, серії SHTxx), які забезпечують високу точність, швидкість відгуку та стабільність.

Розподілена архітектура: встановлення великої кількості недорогих датчиків, рівномірно розподілених по цеху, дозволяє створити карту вологості та виявити локальні зони ризику.

Мережева інтеграція: датчики об'єднуються у безпроводну сенсорну мережу (наприклад, на базі Wi-Fi, ZigBee або LoRaWAN), що забезпечує збір даних у реальному часі.

2. Програмне забезпечення та аналітика

Збір та зберігання даних: збір даних з усіх точок у базу даних (локальний сервер або хмара) для подальшого аналізу.

Візуалізація – створення цифрового двійника або інтерактивної карти цеху, де відображаються поточні значення вологості та температури.

Інтелектуальний аналіз (Machine Learning).

Прогноз ризиків – використання алгоритмів машинного навчання для виявлення закономірностей, прогнозування потенційного утворення точки роси на критичному обладнанні (грунтуючись на вимірних температурах поверхонь, повітря та вологості).

Виявлення аномалій – автоматичне визначення нетипових стрибків вологості, які можуть свідчити про аварійні ситуації (наприклад, прорив труби чи порушення вентиляції).

3. Система прийняття рішень та автоматизація

Оповіщення: автоматичне надсилання сповіщень персоналу (СМС, електронна пошта, пуш-повідомлення) у разі виходу показників за допустимі межі.

Автоматичне керування мікрокліматом: інтеграція системи моніторингу з виконавчими механізмами:

Включення/регулювання роботи осушувачів повітря у локальних зонах або загальноцехової системи вентиляції.

Коригування температурного режиму для уникнення конденсації.

Переваги впровадження.

Проактивне управління ризиками: можливість запобігати корозії та виходу з ладу дорогого електромеханічного обладнання до настання критичних умов.

Підвищення якості продукції: забезпечення стабільних кліматичних умов, необхідних для точного виробництва та складання.

Зниження експлуатаційних витрат: енергоефективне керування кліматичним обладнанням (включення лише за потреби).

Дотримання нормативних вимог: документальне підтвердження підтримки необхідних параметрів мікроклімату.

Централізований контроль: можливість віддаленого моніторингу стану цеху з будь-якої точки.

Висновки.

Впровадження інтелектуальної технології вимірювання вологості на базі розподілених сенсорних мереж та алгоритмів машинного навчання є необхідним кроком для модернізації електромеханічних цехів. Це дозволяє перейти від реактивного до проактивного управління виробничим середовищем, гарантуючи надійність обладнання, якість продукції та ефективність виробничого процесу.

Список використаної літератури:

1. Li, Y., & Wang, L. (2024). IoT-Driven Predictive Maintenance Dashboards in Industrial Operations: Transforming Data into Actionable Intelligence. *Saudi Journal of Engineering and Technology*, 9(9), 457-466. (Акцент на інтеграції сенсорних даних, включаючи вологість, у панелі управління для проактивного обслуговування).

2. Лі, Ю. та Ван, Л. (2024). Інформаційні панелі прогнозного обслуговування на основі Інтернету речей у промислових операціях: перетворення даних на практичний інтелект. Саудівський журнал інженерії та технологій, 9(9), 457-466.

3. Інформаційні панелі прогнозного обслуговування на основі Інтернету речей у промислових операціях. Ісрат Джахан Брісті, Марзія Табассум, доктор медичних наук Іфтахайрул Іслам, доктор медичних наук Нішарул Хасан. Оpubліковано: 16 вересня 2025 р. DOI: <https://doi.org/10.36348/sjet.2025.v10i09.009>

4. Seman, M. T. A., et al. (2020). Monitoring Temperature, Humidity and Controlling System in Industrial Fixed Room Storage based on IoT. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(6), 3588-3600. (Описує розробку системи моніторингу та контролю вологості на базі датчика DHT-11 та платформи Blynk для промислових умов).

5. Hassan, F., et al. (2025). Integrating AI and IoT for Predictive Maintenance in Industry 4.0 Manufacturing Environments: A Practical Approach. *Informatics*,

12(9), 737. (Розглядає роль AI та IoT-сенсорів, зокрема вологості, у прогнозованому обслуговуванні обладнання в контексті Індустрії 4.0).

6. Park, J., & Kim, S. (2022). Recent Studies on the Humidity Sensor: A Mini Review. *ACS Applied Electronic Materials*, 4(11), 5030–5042. (Огляд новітніх розробок сенсорів вологості (2020-2022) та їх інтеграції з контролерами, що є основою інтелектуальних систем).

7. Вплив підвищеної вологості на домашню електроніку. (2023). *Венкон Journal*. (Хоча стаття популярного характеру, містить чіткий опис механізмів впливу конденсату та вологи на друковані плати та електричні з'єднання, що актуально для електромеханічного цеху).

8. Ігнатенко, В. А., та ін. (2022). Аналіз впливу кліматичних факторів на надійність електрообладнання промислових підприємств. *Наукові праці (Чорноморський державний університет імені Петра Могили)*. 10. Maxton Group. (2024). Осушувач повітря – для захисту електроніки від високої вологості. (Актуалізує проблему корозії, окислення контактів та деградації ізоляційних матеріалів під впливом надмірної вологи).

9. ДСТУ EN 50549-1:2019. Вимоги до паралельного функціонування генерувальних установок із розподільчими мережами. (Може використовуватися як довідник для вимог до експлуатаційного середовища електрообладнання).

*Хоменко Ю. С., аспірант
кафедра метрології та безпеки життєдіяльності
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

**МОДЕЛЬ РОЗПІЗНАВАННЯ НАЗЕМНИХ ОРІЄНТИРІВ
АВТОНОМНИМИ МОБІЛЬНИМИ РОБОТАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ
ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МЕТРОЛОГІЧНОЇ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-
ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ**

На сучасному етапі розвитку автономні мобільні роботи (АМР) відіграють ключову роль у сферах, де людина обмежена або взагалі не може виконувати завдання. Особливе значення вони мають на техногенно небезпечних об'єктах (ТНО) – промислових підприємствах, енергетичних установках, транспортних вузлах, об'єктах видобувної та хімічної промисловості. Саме тут надзвичайно важливо забезпечити високий рівень автономності, надійності та точності дій АМР, оскільки від цього залежить безпека як самих систем, так і персоналу.

Однією з головних характеристик таких АМР є здатність самостійно орієнтуватися в умовах обмеженого або невідомого середовища, де часто неможливе використання стандартних систем позиціонування, а середовище постійно змінюється. У таких випадках критично важливим є поєднання навігації, розпізнавання та метрологічно обґрунтованих вимірювань у режимі реального часу.

Мета доповіді – представлення моделі дистанційного виявлення та розпізнавання наземних орієнтирів автономними мобільними роботами з використанням методу фрактальної розмірності з урахуванням метрологічних аспектів, що мають принципове значення на техногенно небезпечних об'єктах.

Забезпечення надійної роботи АМР у складних умовах передбачає використання різноманітних сенсорів: GPS-модулів, лазерних далекомірів, камер оптичного та інфрачервоного діапазонів, датчиків радіаційного та хімічного контролю. Однак у зоні ТНО GPS-сигнали можуть бути недоступними, а оптичні системи – спотворюватися димом, пилом чи агресивними середовищами. Це зумовлює необхідність у застосуванні методів, здатних забезпечити стійке розпізнавання та метрологічну достовірність вимірювань навіть у складних умовах. Класичні методи обробки зображень часто виявляються недостатніми через наявність шумів і низький контраст. У цьому контексті ефективним рішенням є метод фрактальної розмірності, що дозволяє аналізувати структурні характеристики сигналів та зображень. Він забезпечує виділення орієнтирів серед складного фону шляхом оцінки їхньої геометричної складності, що є більш інформативним порівняно з традиційними параметрами.

З метрологічної точки зору застосування фрактального аналізу дозволяє:

- 1) підвищити точність визначення просторового положення АМР завдяки зменшенню впливу шумів;
- 2) стандартизувати процедури обробки даних для забезпечення відтворюваності результатів вимірювань;
- 3) сформувати єдину метрологічну базу для інтеграції різних сенсорів (GPS, далекоміри, камери, хімічні датчики) у єдину систему навігації та моніторингу;
- 4) мінімізувати похибки, що виникають при роботі в агресивних середовищах.

На техногенно небезпечних об'єктах особливо важливо забезпечити надійність і метрологічну сумісність вимірювань, адже навіть незначні помилки у визначенні положення чи ідентифікації об'єктів можуть призвести до аварійних ситуацій. Використання фрактальної розмірності в аналізі

дозволяє формувати стійкі алгоритми виявлення орієнтирів, що знижує ймовірність хибних рішень у системах керування АМР.

Таким чином, поєднання метрологічного підходу до організації вимірювань та фрактального аналізу під час розпізнавання орієнтирів забезпечує:

- 1) підвищення точності та достовірності навігації;
- 2) збільшення швидкодії обробки даних;
- 3) адаптивність систем до змінних умов середовища;
- 4) можливість ефективного застосування АМР на техногенно небезпечних об'єктах для моніторингу, розвідки, пошуку та ліквідації наслідків аварій.

Висновки:

Інтеграція методу фрактальної розмірності з метрологічним забезпеченням процесів навігації та розпізнавання є перспективним напрямом розвитку автономних мобільних роботів. Це дозволяє не тільки підвищити точність та надійність їхньої роботи, а й створити умови для безпечної експлуатації роботизованих систем на об'єктах з підвищеною техногенною небезпекою.

Використана література:

1. Poliarus O., Poliakov Y., Lebedynskyi A. Detection of landmarks by autonomous mobile robots using camera-based sensors in outdoor environments. IEEE Sensors Journal. 2021. Vol. 21, № 10. P. 11443-11450. DOI: 10.1109/JSEN.2020.3010883.
2. Poliarus O., Poliakov Y., Lindner L. Determination of landmarks by mobile robot's vision system based on detecting abrupt changes of echo signals parameters. IEEE Industrial Electronics Society. 2018. P. 3165-3170.
3. Welch, G., & Bishop, G. An Introduction to the Kalman Filter. UNC-Chapel Hill Department of Computer Science, Technical Report. 2006.

4. Mandelbrot, B. B. The Fractal Geometry of Nature. W. H. Freeman and Company, 1983.
5. Dougherty, E. R., & Sankar, K. N. Fractal Dimension as a Robust Feature Extractor for Image Analysis under Adverse Conditions. Journal of Image Processing and Analysis, 2021. 10(2), 45-58.
6. Zheng, Y., & Chen, G. Adaptive SLAM with Dynamic Weighting Based on Sensor Reliability Assessment. Robotics and Autonomous Systems, 2020. P. 103445.

Шевченко Я. С.

Студент гр. ММ-61-24, ХНАДУ, м. Харків

Богатов О. І.

Завідувач кафедри МБЖД, к.т.н., ХНАДУ, м. Харків

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ У ДИНАМІЧНОМУ РЕЖИМІ

Проблема забезпечення метрологічної надійності вимірювальних каналів у динамічних режимах стає все більш актуальною в інтелектуальних інформаційно-вимірювальних системах (ІВС). Такі системи працюють за умов змінних навантажень, температурних дрейфів, механічних вібрацій та електромагнітних завад. Традиційні методи оцінювання точності не дозволяють передбачити деградацію характеристик у реальному часі. Інтелектуальні технології прогнозування на основі машинного навчання, нейронних мереж і статистичного аналізу залишків дозволяють формувати адаптивні прогнози показників метрологічної надійності вимірювальних каналів [1-3].

Мета дослідження – розробити інтелектуальну технологію прогнозування метрологічної надійності вимірювальних каналів у динамічному режимі, що забезпечує раннє виявлення тенденцій деградації чутливості та точності каналів за результатами їх поточних і попередніх вимірювань.

У пропонованій технології прогнозування використовується трирівнева модель: аналіз сигналів вимірювальних каналів, ідентифікація поточних метрологічних характеристик і прогнозування показника метрологічної надійності $M_p(t)$ у майбутньому часовому вікні.

Для реалізації прогнозування використовуються рекурентні нейронні мережі (RNN, LSTM) або моделі регресії з ковзним вікном, які враховують часові залежності між поточними та попередніми станами сигналу. Поточна оцінка показника $M_p(t)$ формується на основі відношення реальної похибки до прогнозованої, а також кореляції між сенсорними каналами. У якості цільових функцій застосовуються метрики RMSE, R^2 та коефіцієнт стабільності.

Моделювання проведено для трьох типів вимірювальних каналів: температурного, тискового та деформаційного. Отримано, що застосування інтелектуальної моделі прогнозування дозволяє зменшити середню похибку прогнозу метрологічної надійності на 35 % порівняно з класичною лінійною регресією. Прогнозовані значення $M_p(t)$ корелюють з експериментальними з коефіцієнтом $R^2 = 0,93$. Результати динаміки $M_p(t)$ представлено на рис. 1.

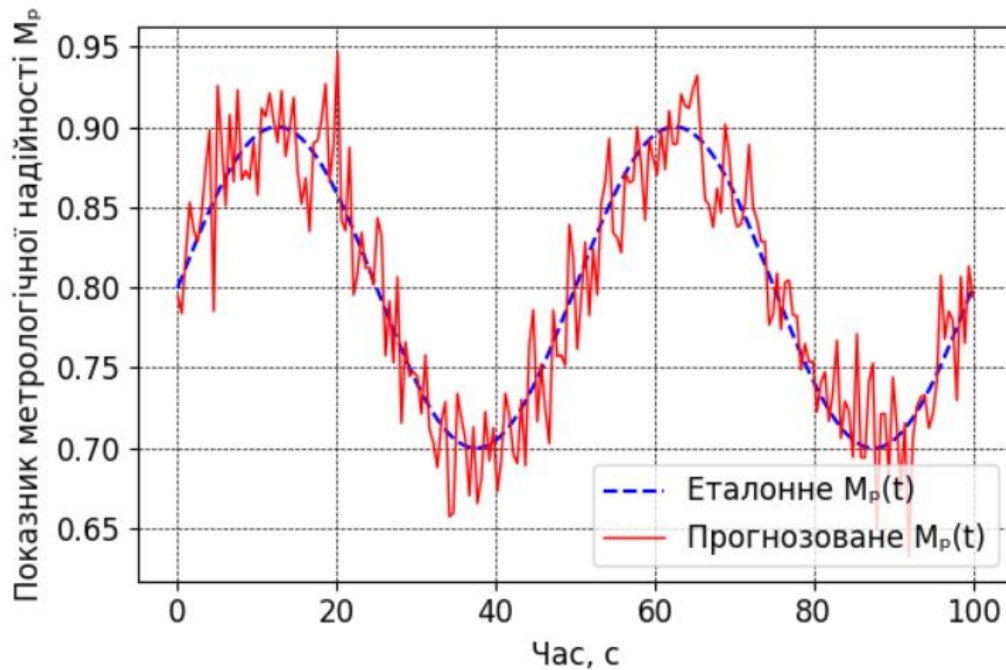


Рисунок 1 – Динаміка прогнозованого показника $M_p(t)$ у часі

Запропонована інтелектуальна технологія прогнозування забезпечує своєчасне виявлення деградації вимірювальних каналів у динамічному режимі. Використання рекурентних нейронних мереж (LSTM) та статистичних методів дозволяє формувати достовірні прогнози показника метрологічної надійності. Технологія може бути впроваджена у складі систем онлайн-діагностики ПВС для підвищення стабільності та довговічності сенсорних модулів.

Перелік використаних джерел:

1. Li Y., Wang J., Chen Z. Intelligent prediction of metrological reliability for dynamic sensor channels using deep recurrent networks. Measurement. 2023. Vol. 215. Article 112982.
2. Novak P., García D., Petrov I. Hybrid predictive maintenance for metrological reliability enhancement in intelligent measurement systems. IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 24371-24384.
3. Kovalchuk O., Naya M. Á., Rodríguez A. J. Data-driven prognosis of measurement channel degradation in cyber-physical systems. Sensors. 2024. Vol. 24, No. 9. Article 3125.

4. Yang J., Liu D., Zhao X. Dynamic uncertainty estimation and reliability prediction for heterogeneous sensor arrays. *Measurement Science and Technology*. 2024. Vol. 35. Article 075102.
5. Bai Y., Zhou Y., Chen M. Adaptive fuzzy-neural predictor for metrological reliability in dynamic environments. *Measurement*. 2025. Vol. 228. Article 115102.
6. Rodríguez A. J., Naya M. Á., Sanjurjo E. Intelligent forecasting of sensor degradation trends for industrial IoT. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 6. Article 2584.

Секція 2

**Пристрої і методи вимірювання та контролю параметрів
потенціально небезпечних процесів. Метрологічне
забезпечення безпеки життєдіяльності**

Бугайчук Н. Р., аспірант
Тичков В. В., к.т.н., доцент
Гальченко В. Я., д.т.н., професор
Трембовецька Р. В., д.т.н., професор
кафедра приладобудування, мехатроніки
та комп'ютеризованих технологій,
Черкаський державний технологічний університет

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИХРОСТРУМОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ НА КОНВЕЄРНИХ ЛІНІЯХ

Вимірювання магнітної проникності смуг феромагнітного прокату вихрострумовим методом є доволі непростю метрологічною операцією, ефективність виконання якої значною мірою залежить від позбавлення сигналів перетворювачів перехресної чутливості до низки впливових на їх формування параметрів, зокрема локальних варіацій електропровідності, змін величини повітряного зазору та товщини об'єктів випробувань. В ряді випадків, коли товщина прокату є умовно значною, тобто перевищує глибину проникнення електромагнітного поля в матеріал в п'ять і більше разів, цим фактором можна нехтувати. Проте, якщо металева смуга перебуває у русі, тобто спостерігається її переміщення зі швидкістю v відносно вимірювального перетворювача, то до вказаних факторів додається ще один, пов'язаний із нестабільністю швидкості руху прокату. Отже, забезпечення прийнятних інформативно «чистих» вихідних сигналів вихрострумових перетворювачів (ВСП), бажано вільних від перешкоджаючих впливів без їх фактичного усунення та функціонально залежних тільки переважно від проникності матеріалу, є актуальним науково-прикладним завданням,

виконання якого суттєво покращує умови здійснення точніших вимірювань магнітної проникності металопрокату.

Робастне параметричне проектування накладних вихрострумів перетворювачів для вимірювання електрофізичних властивостей гарячекатаних кругів у потоці прокатного стану полягає в оптимізації конструктивних та функціональних параметрів перетворювачів для забезпечення стабільності та точності вимірювань в умовах високих температур, динамічного руху та механічних навантажень.

Основні аспекти проектування включають:

- Математичне моделювання вихрострумової взаємодії перетворювача з гарячекатаними кругами, враховуючи температурний вплив на електрофізичні властивості матеріалу

- Параметричний синтез геометрії котушок, частоти збудження та просторового розташування для мінімізації похибок за зміни температури й швидкості руху виробу

- Застосування методів оптимізації і робастних алгоритмів, які враховують варіабельність процесу прокатки та зовнішніх факторів, що впливають на сигнали вихрових струмів

- Формування критеріїв оптимальності, таких як максимальна чутливість, мінімальна похибка, стабільність вимірювань і тривала експлуатаційна надійність

В результаті, розробляються робастні вихрострумові перетворювачі, здатні здійснювати безперервний контроль провідності та магнітної проникності гарячекатаних кругів у реальному часі на прокатних лініях з високою точністю та надійністю, що забезпечує підвищення якості металопродукції.

Отже, **мета роботи** полягає у створенні на основі оптимізаційного алгоритму Тагучі методу робастного параметричного проектування вихрострумів вимірювачів магнітної проникності рухомої смуги

феромагнітного металопрокату, котрий забезпечує підвищення значень коефіцієнтів сигнал/шум SNR накладних трансформаторних перетворювачів з прямокутними ортогональними котушками та зменшує на стадії формування варіацію їх сигналів, яка обумовлена дією неконтрольованих перешкоджаючих факторів.

Задачу дослідження сформулюємо наступним чином: на стадії проектування трансформаторного накладного вихрострумowego перетворювача з прямокутними ортогональними котушками, призначеного для вимірювання магнітної проникності рухомого смугового феромагнітного металопрокату умовно значної товщини, необхідно знайти на основі методу робастного параметричного проектування Тагучі таку комбінацію його режимних та конструктивних параметрів, яка внаслідок складної нелінійної їх взаємодії реалізує максимально можливий коефіцієнт сигнал/шум разом із низькою дисперсією амплітуди вихідного сигналу, обумовленої дією перешкоджаючих впливів без їх усунення.

Загальна схема, яка демонструє повний план дослідження, представлена на рисунку 1. Вона містить перелік етапів алгоритму робастного параметричного проектування вихрострумowych вимірювачів проникності з коротким описом їх суті та послідовності виконання. Перший з них полягає у створенні плану експериментів (DOE) Тагучі, який в свою чергу передбачає виконання декількох послідовних кроків: 1.1 - аналітичного аналізу фізичного процесу вимірювання магнітної проникності перетворювачем та визначення контрольованих та неконтрольованих впливових факторів, що обумовлюють формування сигналу. При цьому вважатимемо під неконтрольованими ті з них, котрі заважають вимірюванням, тобто є шумовими; 1.2 - для контрольованих параметрів вимірювача із каталогу [1] обирається, враховуючи кількість впливових факторів та прийнятих рівнів їх градації, відповідний ортогональний масив як складова створення плану експериментів Тагучі, визначаються границі інтервалів їх змін;

1.3 - аналогічні дії виконуються для неконтрольованих факторів;
1.4 - на цьому кроці передбачений вибір математичної моделі процесу вимірювання накладним ВСП, яка пов'язує між собою конструктивні та режимні параметри вимірювача, електрофізичні, геометричні та інші характеристики об'єкту вимірювань, а отже дозволяє обчислити моделюванням його вихідний сигнал, тобто електрорушійну силу (ЕРС) E .

Другий етап схеми також передбачає низку кроків: 2.1 - за створеним на першому етапі планом експериментів Тагучі, що містить згенеровані варіанти структур вимірювачів та можливі комбінації завод при вимірюваннях ними, відбувається визначення ЕРС перетворювача для кожного різновиду структури при всіх можливих різноманітних ансамблях шумових факторів; 2.2 - для кожного експерименту, обумовленого планом, за отриманими в п.2.1 ЕРС визначається значення показника SNR із врахуванням властивості «larger is better» [2].

Заключний третій етап загальної схеми містить наступні обчислення: 3.1 - враховуючи статистичні показники, серед яких середнє значення відношення сигнал/шум всіх контрольованих параметрів та окремо для кожного з них на всіх рівнях їх градацій, абсолютні похибки його середнього, виконується пошук оптимальних контрольованих параметрів вимірювача, що забезпечують максимально можливе відношення SNR; 3.2 - проведення підтверджувального чисельного експерименту щодо обчислення значення показника SNR, яке забезпечує отримана оптимальна конструкція, та переконанні у забезпеченні його максимального значення серед притаманних всім іншим структурам, котрі підлягали розгляду; 3.3 - застосування дисперсійного ANOVA-аналізу та оцінка за критерієм Фішера показників статистичної значущості впливу контрольованих параметрів на результативну ознаку у вигляді сигналу перетворювача. Отримана таким чином інформація враховується при формуванні вимог до точності

виготовлення структур перетворювачів та умов підтримки режиму їх функціонування.

В публікаціях [1, 2, 3, 4] можна більш широко ознайомитися із детальним описом кожного із етапів наведеного алгоритму в узагальненому вигляді.



Рисунок 1 – Загальна схема робастного параметричного проєктування вихрострумowego вимірювача магнітної проникності методом Тагучі

Всі дослідження в рамках цієї роботи проводилися в результаті комп'ютерних чисельних експериментів. Хоча в оригіналі заповнення плану експериментів Тагучі передбачає виконання фізичних вимірювань сигналів вимірювачів проникності, в цих дослідженнях відбір сигналів імітувався моделюванням за обраною математичною моделлю процесу вимірювань.

В дослідженні на прикладах накладних трансформаторних перетворювачів з прямокутними ортогональними котушками вихрострумowych вимірювачів магнітної проникності рухомого

ферромагнітного смугового прокату здійснено комп'ютерне робастне проектування на основі методу Тагучі.

Для реалізації запропонованого методу віднайдена оптимальна конструкція та параметри збудження вимірювача магнітної проникності, котрі мінімізують вплив неконтрольованих шумових факторів на етапі формування сигналу. При цьому встановлено, що оптимальна структура забезпечує максимально можливе значення показника сигнал/шум на рівні 7.1 дБ. Так приріст SNR, для найгіршої неоптимізованої конструкції складає 28.6 дБ, а для найкращої відповідно - 1.54 дБ. Такий приріст навіть при мінімальному його значенні дає збільшення рівня сигналу перетворювача приблизно на 15.4 %. Проте пошук найкращої із неоптимізованих конструкцій ВСП є, в свою чергу, нетривіальною задачею, яка потребує окремих зусиль.

Чисельно-експериментальним методом Монте-Карло встановлено вплив різноманітних типів шумів на сигнал вимірювача оптимальної структури з оцінкою його варіацій навколо неспотвореного шумами варіанту. Аналогічні моделювання виконані для порівняння з результатами попередніх досліджень на неоптимізованому варіанті структури ВСП.

Здійснено дисперсійний ANOVA-аналіз, який дозволив встановити ранги впливів контрольованих параметрів на SNR перетворювача. Окрім того, сформулювати вимоги до точності виготовлення його конструкції та підтримання стабільності частотного режиму вимірювальних випробувань. В результаті цього аналізу виявлена статистична незначущість деяких параметрів вимірювальної котушки, а саме висота та ширина перерізу, та довжина збуджувальної котушки. Ранжувальний ряд параметрів має вигляд: частота збудження, міжосьова відстань між котушками, ширина котушки збудження, довжина вимірювальної котушки, висота перерізу котушки збудження, ширина вимірювальної котушки, ширина перерізу котушки збудження.

Список використаної літератури:

1. Almansoori N, Aldulaijan S, Althani S, Hassan N M, Ndiaye M, Awad M. Manual spray painting process optimization using Taguchi robust design. International Journal of Quality & Reliability Management 38(1), 46-67 (2021).
2. Halchenko, V. Y., Trembovetska, R., Tychkov, V., & Kovtun, V. Robust parameter design of eddy current meters for the electrical conductivity of materials and products of considerable thickness. Measurement, 119218. (2025).
3. Halchenko, V., Trembovetska, R., & Tychkov, V. Robust parameter design of surface eddy current probes. The case of measuring geometric anomalies in a stationary test object. Tekhnichna Elektrodynamika (5), 76-88 (2025).
4. Halchenko, V. Y., Trembovetska, R. V., & Tychkov, V. V. Application of Taguchi Method in Design of Surface Eddy Current Probes for Diagnostics of Power Equipment. Problemele energeticii regionale 64(4), 10-20 (2024).
5. Halchenko, V., Trembovetska, R., & Tychkov, V. Computer robust parameter design of surface eddy current probes. Developing software design of numerical experiments creating. In CEUR Workshop Proceedings 3896, 448-461 (2025).

В'яла О. А.

Студентка гр. ММ-61-24, ХНАДУ

Коваль А. О.

Доцент кафедри МБЖД, к.т.н., ХНАДУ

АДАПТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ ШУМІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Інтелектуальні інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) є складними комплексами сенсорів, аналогово-цифрових перетворювачів, алгоритмів оцінювання та адаптивних модулів корекції похибок. У процесі

функціонування ПВС зазнають впливу шумів різної природи – термічних, електромагнітних, структурних та параметричних. Їхня статистика часто змінюється в часі, що унеможлиблює застосування фільтрів із фіксованими параметрами. Тому актуальним є використання адаптивних фільтрів, здатних самостійно налаштовувати свої параметри під поточні характеристики шуму [1].

Метою роботи є аналіз і розроблення методів адаптивної фільтрації шумів у ПВС, що забезпечують мінімізацію похибок вимірювань у реальному часі при змінних статистичних властивостях сигналу та завад.

У класичних системах фільтрації (наприклад, при використанні фільтрів Калмана) передбачається, що коваріаційні матриці шумів процесу Q і вимірювань R відомі та залишаються сталими. Проте в умовах нестационарних шумів це припущення порушується, що призводить до деградації оцінок. Для усунення цього недоліку розроблені методи адаптивного налаштування Q та R за критеріями інновацій фільтра Калмана [2].

Одним із найпростіших алгоритмів є LMS (Least Mean Squares), який мінімізує середньоквадратичну помилку між вихідним сигналом і оцінкою. Алгоритм оновлює коефіцієнти за формулою:

$$w(k+1) = w(k) + \mu \cdot x(k) \cdot e(k), \quad (1)$$

де $w(k)$ – вектор вагових коефіцієнтів,

$x(k)$ – вектор вхідних даних,

$e(k)$ – похибка,

μ – коефіцієнт навчання.

Модифікації NLMS і RLS дозволяють підвищити швидкість збіжності та робастність при змінних умовах [3].

У сучасних ПВС з багатоканальними сенсорними системами ефективними є гібридні підходи, що поєднують адаптивний Калманівський фільтр (AKF) і методи глибинного навчання. Наприклад, у роботі [4] описано структуру KalmanFormer, де трансформер моделює коефіцієнт підсилення Калмана (Kalman Gain), що дозволяє забезпечити оптимальне оновлення стану при нелінійних спостереженнях.

Крім того, для підвищення співвідношення сигнал/шум (SNR) доцільно застосовувати попередній денойзинг. Метод повного емпіричного розкладання ансамблю з адаптивним шумом у поєднанні з вейвлет-фільтрацією дозволяє адаптивно виділяти інформативні моди сигналу та усувати випадкові завади [5].

У дослідженнях [6] продемонстровано можливість компенсації зовнішніх впливів, таких як температура або вологість, за допомогою адаптивного фільтра Калмана із змінними коефіцієнтами. Це особливо актуально для спектроскопічних вимірювань, де коливання зовнішніх параметрів суттєво впливають на точність сигналу.

Результати моделювання показують, що застосування адаптивних методів дозволяє зменшити середньоквадратичну помилку вимірювання від 20 % до 35 % порівняно з традиційними фільтрами із фіксованими параметрами. Фільтр RLS демонструє найкращу збіжність при низькому рівні шуму, тоді як LMS є ефективним для високочастотних завад. Адаптивний Калман забезпечує найкращий компроміс між швидкістю та точністю в нестационарних середовищах.

На рис. 1 показано зниження шуму після адаптивної фільтрації (RLS), а на рис. 2 – порівняння продуктивності фільтрів. Графіки показують суттєве підвищення сигнал/шум та стабільність оцінок.

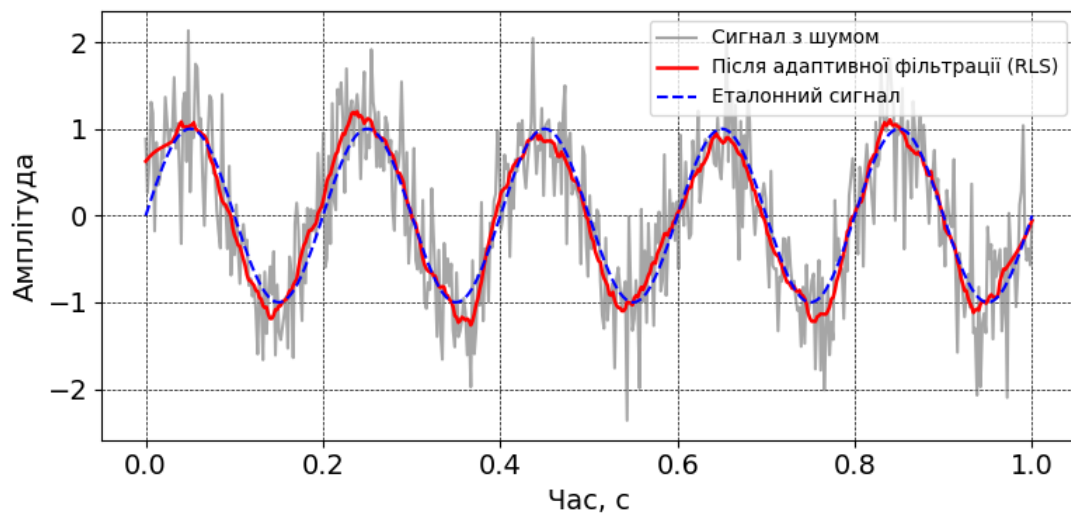


Рисунок 1 – Зниження шуму після адаптивної фільтрації (RLS)

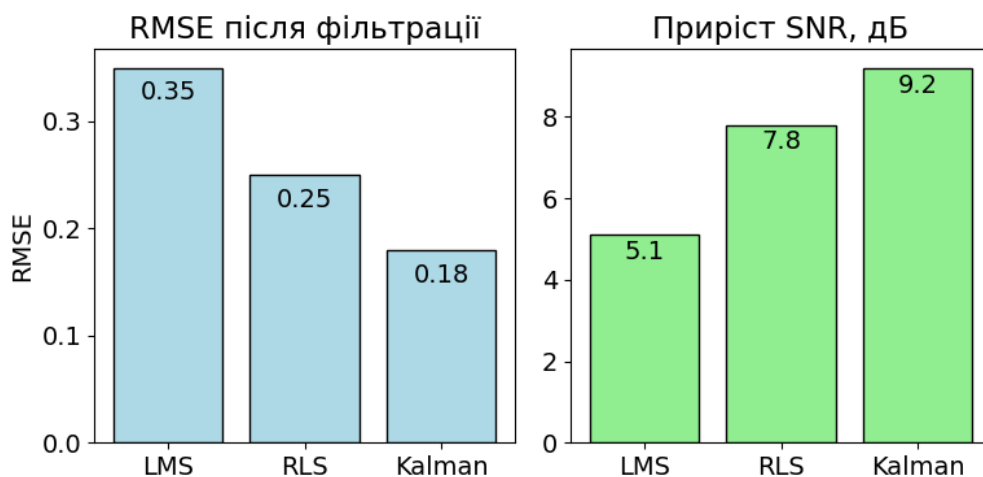


Рисунок 2 – Порівняння продуктивності фільтрів

Як свідчать результати досліджень адаптивна фільтрація є ефективним засобом стабілізації метрологічних характеристик ПВС при змінних умовах експлуатації. Алгоритми LMS/NLMS забезпечують просту реалізацію та добру роботу при незначних змінах статистики шуму. Алгоритми RLS і адаптивні варіанти фільтра Калмана дозволяють досягти високої точності оцінювання навіть за наявності сильних корельованих завад. Поєднання адаптивної фільтрації з глибокими моделями (Transformer, KalmanFormer) відкриває перспективи для створення самонавчальних вимірювальних систем нового покоління.

Перелік використаних джерел:

1. Naya M. Á., Sanjurjo E., Rodríguez A. J., Cuadrado J. Kalman filters based on multibody models: linking simulation and real world. *Multibody System Dynamics*. 2023. T. 58. C. 479–521. DOI: 10.1007/s11044-023-09893-w.
2. Ahmad R., Alotaibi S., Alotaibi M., et al. Online Adaptive Kalman Filtering for Real-Time Anomaly Detection in Wireless Sensor Networks. *Sensors*. 2024. T. 24, № 15. Ст. 5046. DOI: 10.3390/s24155046.
3. Shen S., Chen J., Yu G., Zhai Z., Han P. KalmanFormer: using transformer to model the Kalman Gain in Kalman Filters. *Frontiers in Neurorobotics*. 2024. Article 1460255. DOI: 10.3389/fnbot.2024.1460255.
4. Liu Y., Zuo H., Liu Z., Fu Y., Jia J. J., Dhupia J. S. Electrostatic Signal Self-Adaptive Denoising Method Combined with CEEMDAN and Wavelet Threshold. *Aerospace*. 2024. T. 11, № 6. Ст. 491. DOI: 10.3390/aerospace11060491.
5. Rodríguez A. J., Sanjurjo E., Naya M. Á. An Enhanced Adaptive Kalman Filter for Multibody Model Observation. *Sensors*. 2025. T. 25, № 7. Ст. 2218. DOI: 10.3390/s25072218.
6. Sbarbaro D., Johansen T. A., Yañez J. Adaptive Kalman Filtering for Compensating External Effects in On-Line Spectroscopic Measurements. *Sensors*. 2025. T. 25, № 8. Ст. 2513. DOI: 10.3390/s25082513.

Коришун Є. А., аспірант
Тичков В. В., к.т.н., доцент
Гальченко В. Я., д.т.н., професор
Трембовецька Р. В., д.т.н., професор
кафедра приладобудування, мехатроніки
та комп'ютеризованих технологій,
Черкаський державний технологічний університет

ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТРОЛЮ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІОНСЕЛЕКТИВНИХ СЕНСОРІВ

Проектування комп'ютерно-інтегрованих технологій контролю водних ресурсів за допомогою іонселективних сенсорів полягає у розробці проточно-інжекційних систем, що поєднують автоматизований збір даних з плоских проточних твердотільних іонселективних електродів другого роду, обробку цих даних комп'ютерними методами та їх використання для моніторингу якості води в реальному часі.

Основні аспекти дослідження:

- Розробка сенсорної частини з плоскими твердотільними іонселективними електродами для визначення концентрації іонів і забруднюючих речовин у воді.

- Створення програмного забезпечення для збору, фільтрації та аналізу сигналів сенсорів.

- Впровадження комп'ютерно-інтегрованих технологій для дистанційного моніторингу з віддаленим доступом до результатів.

- Автоматизація процесів контролю з можливістю оперативного реагування на зміни параметрів води.

- Забезпечення високої точності, надійності та стабільності роботи системи в складних гідрологічних умовах.

Такі технології знаходять застосування у моніторингу поверхневих та підземних вод, лабораторних аналізах, а також у системах охорони довкілля, де важлива оперативна і точна інформація про стан водних ресурсів.

Метою розробки є створення ефективної, автоматизованої системи для точного, оперативного та безперервного моніторингу якості води. Це дає змогу виявляти та контролювати рівні концентрацій іонів і забруднюючих речовин у водних об'єктах, забезпечує своєчасне реагування на екологічні загрози та сприяє охороні довкілля.

Основні цілі:

- Підвищити точність і достовірність вимірювань хімічного складу води.
- Забезпечити автоматизацію збору та обробки даних без участі операторів.
- Надавати можливість віддаленого моніторингу та аналізу стану водних ресурсів у режимі реального часу.
- Сприяти впровадженню превентивних заходів щодо запобігання забрудненню води.
- Забезпечити інтеграцію з існуючими системами екологічного контролю для комплексного управління якістю води.

Отже, розробка спрямована на підвищення ефективності екологічного моніторингу та збереження водних ресурсів.

Предмет дослідження включає:

- Методи і засоби визначення концентрації іонів у водних середовищах за допомогою іонселективних електродів.
- Побудову проточно-інжекційних інформаційно-вимірювальних систем для автоматичного збору, передачі та обробки даних із сенсорних мереж.
- Технології інтеграції іонселективних сенсорів у комп'ютеризовані системи моніторингу якості води.

- Алгоритми обробки сигналів сенсорів для визначення хімічного складу і виявлення забруднень.

- Використання бездротових технологій зв'язку та хмарних рішень для дистанційного моніторингу й аналізу даних у режимі реального часу.

Отже, предметом дослідження є поєднання електрохімічних сенсорів (іонселективних електродів) з комп'ютерними та комунікаційними технологіями для ефективного, безперервного і точного моніторингу стану водних ресурсів з екологічною метою.

Наукові задачі включають:

- Розробку автоматизованих систем для безперервного вимірювання гідрохімічних параметрів води з використанням іонселективних електродів.
- Визначення оптимальних технічних характеристик (точність, селективність, стабільність) іонселективних сенсорів у реальних умовах експлуатації.
- Розробка алгоритмів обробки і аналізу сигналів для підвищення точності моніторингу та виявлення забруднень.
- Забезпечення ефективної передачі, зберігання та візуалізації даних моніторингу у режимі реального часу.
- Інтеграція сенсорних систем з IoT-технологіями для дистанційного контролю водних ресурсів.
- Аналіз впливу зовнішніх факторів (температури, забруднення поверхонь електродно-активних частин електродів вимірювального та порівняння) на роботу сенсорів і розробка методів компенсації цих ефектів.
- Розробка рекомендацій із розміщення сенсорів у критичних точках водних об'єктів для забезпечення надійного екологічного контролю.

Ці задачі спрямовані на підвищення ефективності, надійності та оперативності систем екологічного моніторингу.

Список використаної літератури:

1. Тичков, В. В. (2017). *Методи підвищення якості первинних перетворювачів для систем автоматичного контролю технологічної води* (Doctoral dissertation).
2. Тичков, В. В., Трембовецька, Р. В., & Гальченко, В. Я. (2018). Criteria for the Selecting Parameters Anode Polarization Process of Substances on the Ion-Selective Electrodes Surface. *Екологічні науки (Environmental Sciences)*, 2(1 (20)), 107-117.
3. Тичков, В. В., Трембовецька, Р. В., Гальченко, В. Я., & Куницька, Л. Г. (2018). The use of a single-parametric regression analysis for chrome (VI)-selective electrode manufacture parameters of modeling and optimization. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС–2018)*, 139-141.
4. Тичков, В. В., Гальченко, В. Я., & Трембовецька, Р. В. (2018). Technical and technological bases for achieving environmental safety of sustainable development. In *Czestochowa* (pp. 160-171). Czestochowa.
5. Тичков, В. В., Трембовецька, Р. В., Гальченко, В. Я., & Титаренко, С. М. (2018). Content study of dissolved iron in underground waters. *Датчики, прилади та системи–2018*, 113-114.
6. Тичков, В. В., Трембовецька, Р. В., Гальченко, В. Я., & Куницька, Л. Г. (2018). Regression Analysis Application for the Uncertainty Estimation of the Ionometric Converters Graduation. *Information Technologies in Education, Science and Technology"(ITEST-2018)*, 143-146.
7. Тичков, В. В., Гальченко, В. Я., Трембовецька, Р. В., & Товстоп'ят, В. О. (2022). Розроблення та дослідження автоматизованої вимірювальної системи екологічного моніторингу. *Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно-небезпечних об'єктах: матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, Харків, 4 листопада 2022 р.*, 62-68.

8. Tychkov, V., Pipka, M. I., Trembovetska, R., & Halchenko, V. (2021). The improvement of information and measuring system of halogen control in drinking water. Датчики, прилади та системи – 2021: збірник праць IX Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої пам'яті професора Шарапова В. М., Черкаси-Херсон-Лазурне, вересень 2021 року, 123-126.

Рудаков С. В.¹, Старченко М. В.²

¹ - доцент кафедри ДНСПТБ, к.т.н., доцент

² - студентка

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

МЕТОДИКА ВИЯВЛЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕННЯ КАБЕЛЬНИХ ВИРОБІВ НА ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСАХ

Пожежна безпека експлуатації об'єктів енергетики значною мірою залежить від стану та перевантаження трас силових та контрольних кабелів, що використовуються на об'єктах різного призначення. Кабелі являють собою електротехнічні вироби, в яких одночасно присутні: горюча речовина (ізоляційні матеріали), окислювач (кисень повітря) та джерело запалювання (струмопровідна жила). Це обумовлює їх високу пожежну небезпеку. Погіршення діелектричних властивостей ізоляційних матеріалів призводить до поступового збільшення струму втечі та замкненню струмопровідних жил.

Систематичні спостереження за якістю кабелів, які включають польові та лабораторні дослідження на відібраних зразках свідках, є основою своєчасного виявлення зміни параметрів і вжиття адекватних заходів аж до заміни застарілих виробів новими.

Останніми роками вимоги до кабелів суттєво зросли. Разом з тим з'явилися нові методики та більш чутливі прилади, в тому числі цифрові, що дають змогу здійснювати неруйнівний контроль кабелів на вищому технічному рівні.

В наш час існує багато методів пошуку місця пошкодження кабелю (МПК). Можна розділити їх на дві великі групи: дистанційні та топографічні. Дистанційні методи дозволяють знайти відносне МПК на трасі кабельної лінії, а топографічні методи дозволяють відшукати місце пошкодження безпосередньо в полі. До дистанційних відносять імпульсний, петлевий, ємнісний. До топографічних - індукційний, акустичний, потенційний. Вище перераховано основні методи, на основі яких побудовано більшість сучасної апаратури, але існує багато специфічних методів.

Місце пошкодження (МП) характеризується певним опором місця пошкодження ($R_{мп}$) і напругою місця пошкодження ($U_{мп}$).

Для доведення характеристик опору та напруги місця пошкодження до необхідного рівня використовують пропалювання або допалювання ізоляції кабелю. Саме з цією метою в пересувних електротехнічних лабораторіях використовують блоки допалювання та пропалювання. Вони зменшують перехідний опір до необхідного значення за рахунок енергії, що виділяється в розрядному проміжку завдяки електричному струму.

Імпульсний метод базується на відправці в пошкоджену лінію зондуючого електричного імпульсу та вимірюванні проміжку часу між моментом подачі цього імпульсу та моментом приходу віддзеркаленого імпульсу. Імпульс, відправлений в кабельну лінію, буде віддзеркалюватися від неоднорідностей хвильового опору цієї лінії. На рис.1 представлено осцилограму приладу, який працює на імпульсному методі.

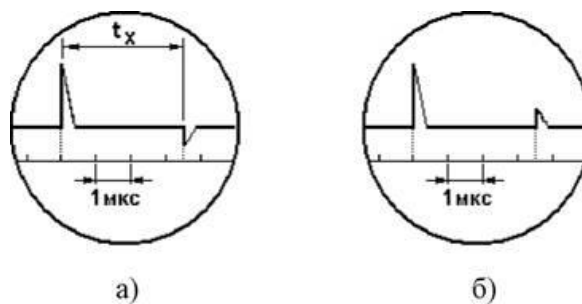


Рисунок 1 – Екран приладу при визначенні зони пошкодження кабелю імпульсним методом

Зі знаку віддзеркаленого імпульсу судять про характер пошкодження. Якщо відправлений та віддзеркалений імпульс різних знаків – пошкодження типу замикання (рис.1,а), якщо одного знаку – пошкодження типу обрив (рис.1, б).

Кабелі різних типів можуть мати різні хвильові опори, тому при проходженні імпульсу через кабель він віддзеркалюється в місцях порушення однорідності та на екрані приладу, крім віддзеркалення від місця пошкодження, спостерігаються додаткові віддзеркалення.

Для визначення МПК петлевим методом необхідно на одному кінці кабельної лінії з'єднати пошкоджену жилу з непошкодженою перемичкою, перетином не менше перетину жил кабелю, забезпечивши контакт з малим перехідним опором. Зазвичай перемичка виготовляється з пружного мідного канату з затиском з латуні. На іншому кінці кабелю до цих же жил приєднують вимірювальний міст з гальванометром та батареєю.

Індукційний метод пошуку пошкоджень кабелю полягає в тому, що при пропусканні через кабель змінного струму від генератора звукової частоти навкруги кабелю утворюється магнітне поле, характер розподілу якого залежить від багатьох чинників (конструкції кабелю, способу підключення генератора, виду пошкодження, наявності контактів оболонки кабелю з ґрунтом та ін.).

Утворене магнітне поле індукційним датчиком перетвориться в електричний сигнал, який посилюється, селекується за частотою. За певних умов, магнітне поле кабелю за місцем пошкодження різко слабшає, що є пошуковою ознакою.

Для пошуку траси кабелю і місця пошкодження індукційним методом в комплекті приймача є виносний індукційний датчик з ручко-утримувачем, а сам приймачі – резонансний вузькосмуговий підсилювач.

Петлевий метод гарний коли довжина траси кабелю не дуже велика, бо тоді не дуже далеко їхати(йти), щоб переключити міст в інше положення.

Імпульсний метод дозволяє просто стоячи по одну сторону траси приблизно вказати місце пошкодження. Звісно, ніхто тільки з однієї сторони не визначає місце пошкодження, визначають з обох кінців, але приблизно можна визначити, ± 50 метрів.

В наш час особливого технічного прогресу сучасне обладнання є однією з найважливіших частин нормального існування людства. Якщо казати про обладнання для пошуку МПК, то тут теж це дуже важливий фактор нормальної роботи енергосистеми.

Для пошуку МПК існують пересувні електротехнічні метрологічні лабораторії. Зазвичай це вантажні автомобілі, всередині яких встановлено обладнання для пошуку МПК. Пошуком МПК в таких автомобілях займається, звичайно, декілька приладів серед яких обов'язково потрібно бути одному приладу, що проводить пошук топографічним методом, та одному приладу для дистанційного методу. Обов'язково є блоки пропалювання та опалювання для виводу перехідних опорів та напруги в необхідний діапазон.

В кожній з вищеперерахованих пересувних електролабораторіях є пристрої для пошуку місця пошкодження на відстані від автомобіля, в якому встановлено лабораторію. Ці прилади дозволяють знаходити трасу кабелю, шукати місця пошкоджень різними методами (рис.2).



Рисунок 2 – Приймач П-900 («ХарківЕнергоприлад», м. Харків)

Застосування методу неруйнівного контролю стану ізоляції

багатожильних кабелів дозволить своєчасно визначити найбільш вразливі ділянки кабельних виробів з точки зору пожежної небезпеки.

Відновлення параметрів ізоляції конструктивних елементів кабелів за результатами сукупних вимірів зводиться до рішення систем рівнянь, що у загальному випадку є нелінійними стосовно шуканих параметрів. Виникаюча при цьому неоднозначність рішень представляє визначену проблему для правильної інтерпретації даних.

Точність відновлення параметрів кабелю залежить від адекватності схеми заміщення, точності вимірів і властивостей систем рівнянь, що зв'язують невідомі параметри з параметрами, доступними для спостережень. Вона може бути досить високої для того, щоб використовувати таку методику в задачах спостереження за станом ізоляції кабелів методами, що не руйнують.

Список літератури:

1. Рудаков С. В., Отрош Ю. А. Метрологічне рішення нелінійності рівнянь в складі інформаційно-вимірювальних систем. Матеріали науково-технічної конференції “Датчики, прилади та системи – 2024” – Черкаси: ЧДТУ, 2024 С.42-44

Тичков Д. В., аспірантка
Бондаренко М. О., д.т.н., професор
кафедра приладобудування, мехатроніки
та комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

ПОБУДОВИ, АНАЛІЗ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДОСЛІДЖЕНЬ В СЕРЕДОВИЩІ DATA MINING WORKSPACES

У процесі дослідження точності та надійності вимірювання низькоінтенсивних електричних полів, особливо в умовах наявності зовнішніх збурювальних чинників, ключовим завданням є прогнозний моніторинг просторово-часового стану квазістатичного електричного поля мікроелектронного пристрою. Це завдання полягає у екстраполяції закономірностей зміни характеристик поля в минулому для точного визначення цих характеристик у майбутньому. Одним із найефективніших підходів є побудова регресійної моделі, яка кількісно описує вплив вхідних змінних на результати вимірювань.

З огляду на складність топології гіперповерхні відгуку при моделюванні впливу зовнішніх чинників на вимірювання низькоінтенсивних електричних полів, традиційні методи планування експерименту є малоефективними. Натомість доцільно застосовувати комп'ютеризовані методи заповнення багатовимірному простору пошуку рівномірно розташованими випробувальними точками у межах одиничного гіперкуба. Для цього використовуються спеціальні генератори послідовностей, серед яких найпопулярнішими є генератори Холтона, Чебишева та Соболя.

Особливу увагу заслуговують ЛПт-послідовності Соболя, які мають найкращі відомі властивості рівномірного розподілу точок у

багатовимірному просторі. Теоретичні основи цих послідовностей, алгоритми їх генерації та ключові властивості дозволяють ефективно будувати експериментальні плани навіть у складних багатовимірних задачах, що значно підвищує якість і надійність отриманих результатів

Програмне забезпечення Statistica Data Miner відповідає всім необхідним вимогам для виконання обчислень у пакетному режимі, включаючи модульність, підтримку вибору методів оброблення даних, використання проблемно-орієнтованої мови формулювань завдань, автоматизацію обробки даних і взаємодії між модулями, збереження даних і автоматичну генерацію звітів. Ця система має діалоговий режим роботи, сумісність з іншими програмними продуктами та зручний інтерфейс. Statistica Data Miner пропонує потужні інструменти інтелектуального аналізу даних, створення та супровід складних аналітичних моделей, вибір готових шаблонів для типових і спеціалізованих завдань, а також покрокове спрощення моделей з детальним контролем процесу побудови прогнозних рішень.

Це програмне середовище забезпечує комфортні робочі зони Data Mining Workspaces для побудови, аналізу та вибору оптимальних регресійних моделей, що особливо важливо для подальших досліджень у галузі прогнозування, моделювання та аналізу даних.

У результаті аналізу та вибору ключових регресійних моделей створено робочу область із обраними моделями для регресійного аналізу. Для кожного методу налаштовуються параметри аналізу та підключається відповідний набір даних. Результати моделювання для таких моделей, як Standard Regression Trees (C and RT), Support Vector Machine, Standard Multiple Regression, SANN Regression, і MARS, наведені у вигляді таблиць результатів для навчальної та тестової вибірок.

Регресійний аналіз дозволяє кількісно описати вплив вхідних змінних на результати, а оцінка моделей за допомогою навчальних і тестових вибірок

дає змогу порівняти їх точність і надійність. Такий підхід забезпечує вибір найбільш ефективної моделі для подальшого прогнозування та аналізу даних.

Для зручності аналізу великих обсягів результатів моделювання в модулі Reporting Documents використовується інтелектуальний модуль Compute Best Predicted Classification from all Models. Цей модуль дозволяє автоматично вибирати найкращу серед усіх застосованих регресійних моделей або обирати 2-3 найкращі моделі з усередненням результатів для підвищення якості прогнозу.

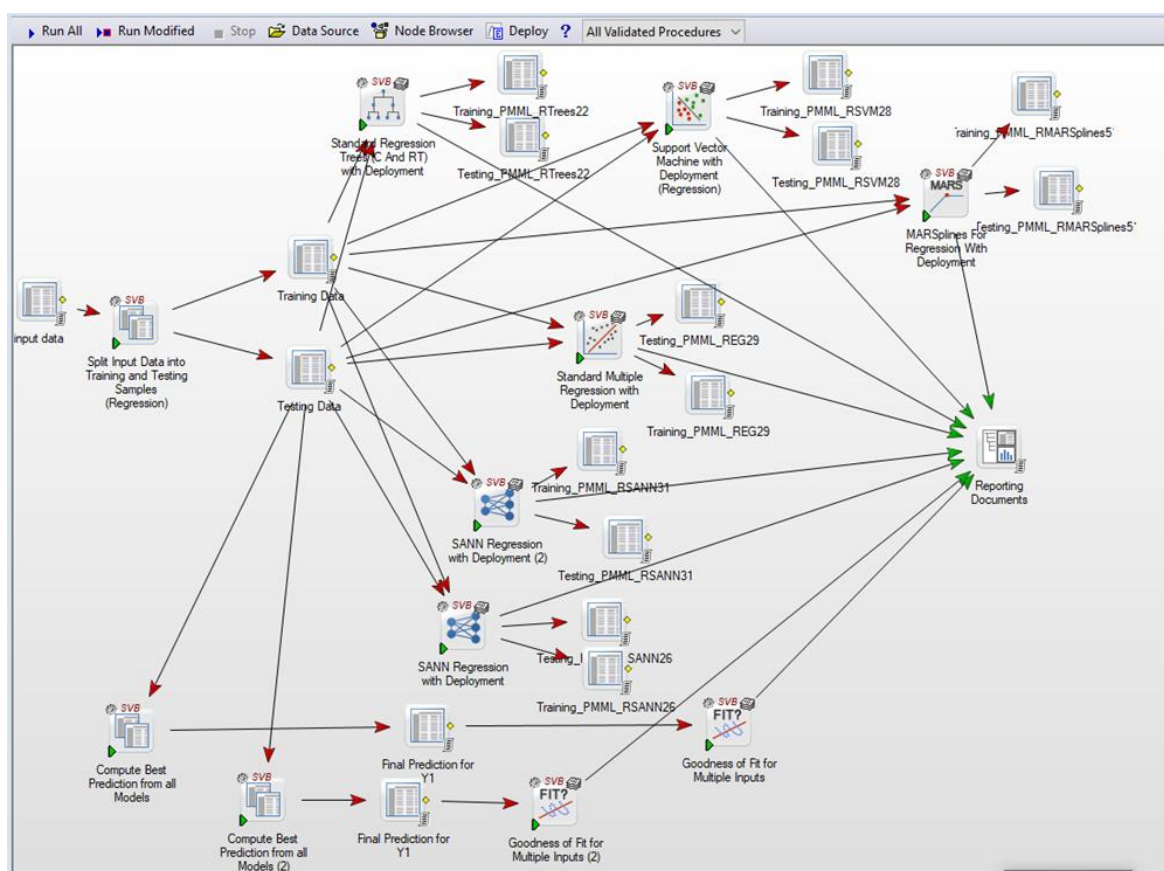


Рисунок 1 – Проект побудови та аналізу регресійних моделей

У модуль підключаються результати роботи таких моделей, як дерева рішень (RTrees), методи опорних векторів (SVM), множинна регресія (REG), штучні нейронні мережі (SANN) та сплайн-регресія (MARS). Це дає змогу комплексно порівняти їхні можливості на тестових даних і автоматизувати

вибір оптимальної моделі або їх комбінації, що значно підвищує точність прогнозування і стабільність результатів.

Коефіцієнт детермінації R^2 – це статистичний показник, який характеризує частку дисперсії залежної змінної, яка пояснюється моделлю. У випадку найкращої моделі – Standard Multiple Regression with Deployment, R^2 дорівнює 0,99999, що означає, що модель враховує понад 99,99 % варіації відгуку та має дуже високий рівень пояснення. Це свідчить про її високу адекватність і точність прогнозування.

Згідно з теоретичними даними, значення R^2 , близьке до 1, вказує на те, що модель дуже добре описує дані. При цьому важливо враховувати, що високий коефіцієнт не завжди означає, що модель є оптимальною для всіх випадків, оскільки він може бути штучно завищений у разі надмірної складності моделі або великої кількості предикторів. Тому для оцінки якості регресійних моделей рекомендується також враховувати інші метрики та аналіз залишків.

Список використаної літератури:

1. *Інтелектуальний аналіз даних* : навчальний посібник / А. О. Олійник, С. О. Субботін, О. О. Олійник. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2012. – 278 с. ISBN 978-617-529-052-1.

2. Гороховатський В. О., Творошенко І. С. *Методи інтелектуального аналізу та оброблення даних*: навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 92 с. ISBN 978-966-659-298-2. DOI: 10.30837/978-966-659-298-2.

3. Роїк М. В., Присяжнюк О. І., Денисюк В. О. Огляд програмних засобів статистичного аналізу даних. Ефективна економіка. 2017. № 7. – URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5676> (дата звернення: 07.09.2020).

4. "TIBCO Statistica® User's Guide," 2024 [Online]. Available: <https://docs.tibco.com/pub/stat/14.0.0/doc/html/UsersGuide/GUID-058F49FC-F4EF-4341-96FB-A785C2FA76E9-homepage.html>. [Accessed: Nov. 01, 2024].

Тичкова Н. Б., аспірантка
Гальченко В. Я., д.т.н., професор
Трембовецька Р. В., д.т.н., професор
Тичков В. В., к.т.н., доцент
кафедра приладобудування, мехатроніки
та комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОДНОЧАСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛІВ МАТЕРІАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ В ПРИПОВЕРХНЕВІЙ ЗОНІ ПЛАСКИХ СТРУМОПРОВІДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Вихрострумний аналіз мікроструктури матеріалів є ключовим методом у різних сферах науки, техніки та промисловості через унікальні властивості та здатність провести детальну перевірку якості матеріалів, визначення профілів їх властивостей і виявлення мікроструктурних відхилень під час технологічних операцій, зокрема поверхневого зміцнення. До значущих факторів, які впливають на розподіл вихрових струмів і результати вимірювань, відносяться характеристики об'єкта контролю, такі як електропровідність і магнітна проникність, а також його форма, розмір і конфігурація; частота електромагнітного поля, що визначає глибину проникнення струмів; та зазор між котушкою і об'єктом. У цьому дослідженні розглядається метод одночасного визначення профілів електропровідності та магнітної проникності за допомогою накладного вихрострумного перетворювача з наступним аналізом на базі алгоритмів сурогатної оптимізації та нейронних метамоделей скороченої розмірності. Визначення цих профілів дозволяє робити висновки про мікроструктурні характеристики об'єкта. Отже, задача реконструкції профілів на основі

прямих вимірювань амплітуди і фази сигналів є багатопараметричною та оберненою вимірювальною задачею зі складною постановкою.

Об'єктом дослідження цієї роботи є процес одночасного визначення профілів матеріальних властивостей об'єктів контролю за допомогою вихрострумового методу. Предметом дослідження виступає метод сумісного визначення приповерхневих профілів електрофізичних параметрів металевих об'єктів з використанням вихрострумового аналізу, що базується на апіорному накопиченні інформації у сурогатних моделях скороченої розмірності.

Метою статті є дослідження ефективності запропонованого методу, який одночасно визначає профілі електропровідності та магнітної проникності в приповерхневій зоні плоских об'єктів контролю. Це дослідження проведено за допомогою комп'ютерних експериментів із застосуванням сурогатної оптимізації у РСА-просторі скороченої розмірності та накопичення апіорної інформації про основні фактори, що формують сигнал накладного вихрострумового перетворювача. При цьому розглядається варіація вимірності компактного підпростору з метою підвищення точності моделювання та оптимізації.

При моделюванні вихрострумовим методом вимірювання об'єкту контролю (ОК) вважається таким, що має нескінченні геометричні розміри, а середовище – лінійним, однорідним і ізотропним. Визначення профілів електропровідності (ЕП) і магнітної проникності (МП) проводиться чисельними методами на основі даних, отриманих за допомогою накладного вихрострумового перетворювача (ВСП).

Алгоритм розв'язання оберненої задачі базується на електродинамічній моделі процесу вихрострумового контролю, котра враховує, що приповерхнева зона ОК з різними структурними особливостями, наприклад, за рахунок технологічних операцій зміцнення, імітується як багат шарова система, де кожен шар має власні постійні матеріальні параметри.

Безперервність профілів ЕП і МП моделюється великою кількістю таких шарів.

Електромагнітне поле генерується котушкою генератора ВСП із синусоїдальним струмом з певною кутовою частотою ω . Котушка має прямокутний поперечний переріз обмежених розмірів із рівномірною густиною струму та кількістю витків, тоді як вимірювальна котушка ВСП має нескінченно малий переріз.

Для аналітичного моделювання процесу застосовується модифікована електродинамічна модель Uzal-Cheng-Dodd-Deeds, адаптована Theodoulidis, що дозволяє враховувати складні структурні особливості об'єкта контролю під час вихрострумowego дослідження.

При моделюванні вихрострумowego контролю застосовується комплексна методологія, що включає такі основні етапи:

1. Отримання точного розв'язку прямої електродинамічної задачі взаємодії квазістаціонарного електромагнітного поля, згенерованого накладним вихрострумowym перетворювачем (ВСП), із струмопровідним пласким об'єктом контролю (ОК) з кусково-постійними профілями матеріальних характеристик та обчисленням сигналу ВСП.

2. Планування комп'ютерних експериментів для дослідження та аналізу.

3. Створення метамоделей (проксі-моделей) за допомогою глибоких повнозв'язних багат шарових персептронів (MLP-нейронних мереж) з врахуванням апріорної інформації щодо характеристик ОК.

4. Розв'язання оберненої задачі визначення профілів електропровідності та магнітної проникності із застосуванням оптимізаційного популяційного метаввристичного алгоритму пошуку глобального екстремуму, який працює на основі сурогатної моделі.

Цей підхід дозволяє ефективно інтерпретувати вимірювальні сигнали ВСП та відновлювати профілі матеріальних властивостей у багат шаровій

приповерхневій зоні об'єктів контролю з високою точністю. Така методологія ґрунтується на детальних математичних моделях, сучасних методах штучного інтелекту та глобальних оптимізаційних алгоритмах, що дає змогу враховувати складні структурні особливості матеріалів і точніше управляти процесом вимірювань.

План обчислювальних експериментів враховує всі основні фактори, що впливають на формування вихідного сигналу накладного вихрострумowego перетворювача. До них належать матеріальні характеристики об'єкта контролю, частота електромагнітного поля зондування, а також повітряний зазор між ВСП та ОК. Збір інформації про ці фактори на попередньому етапі дозволяє акумулювати додаткові дані про ОК, які використовуються у створенні сурогатної моделі за допомогою глибоких нейронних мереж.

Оптимізація в цій моделі здійснюється не у повному проєктному просторі, розмірність якого залежить від кількості умовних шарів у приповерхневій зоні ОК, а у скороченому просторі зменшеної розмірності, що зберігає майже всі властивості повного простору при незначній втраті інформації. Це компактне представлення забезпечується за рахунок застосування методу головних компонент (РСА). Такий підхід підвищує ефективність та точність процесу відновлення профілів матеріальних властивостей об'єкта контролю.

При виконанні оптимізації в задачі вихрострумowego контролю можна знайти баланс між обчислювальною складністю та точністю розв'язку, регулюючи розмірність скороченого простору пошуку. Цей простір має меншу розмірність за рахунок збереження ключових властивостей вихідного простору, який визначається подвійною кількістю умовних шарів приповерхневої зони об'єкта контролю. Після оптимізації за допомогою скороченого простору відбувається зворотне проєціювання результатів у первинний проєктний простір, що дозволяє визначити шукані профілі електропровідності та магнітної проникності з високою точністю. Такий

підхід знижує обчислювальні витрати, зберігаючи при цьому достатню точність відновлення профілів матеріальних властивостей.

Проведені комп'ютерні експерименти чітко показали ефективність запропонованого методу визначення профілів матеріальних характеристик плоских об'єктів контролю при використанні технік сурогатної оптимізації в скороченому РСА-просторі. Використання найважливішої апіорної інформації щодо об'єктів у процесі вихрострумового контролю дозволило достовірно і точно відновлювати мікроструктурні особливості матеріалів, підтверджуючи надійність підходу та його прикладну значущість у дослідженнях матеріалознавства та контролю якості матеріалів.

Список використаної літератури:

1. Halchenko, V. Ya., Trembovetska, R. V., Tychkov V. V., & Tychkova, N. B. (2024). Surrogate methods for determining of profiles of material properties of planar test objects with accumulation of apriori information about them. Archives of electrical engineering. 73(1), 183-200. doi:10.24425/aee.2024.148864

2. Halchenko V. Ya., Trembovetska R. V., Tychkov V. V., Tychkova N. B. 2024. The inverse problem of determining of electrophysical parameters profiles in eddy-current structuroscopy using apriori information on multifrequency sensing. Mathematical Modelling and Analysis. Vol. 29, Issue 4, pp. 767-780. <https://doi.org/10.3846/mma.2024.20022>.

3. Halchenko V. Ya., Trembovetska R. V., Tychkov V. V., Tychkova N. B. Reconstruction of electrophysical parameters distribution during eddy current measurements of structural features of planar metal objects. Latvian journal of physics and technical sciences. Vol 61. № 3 – 2024. – P. 61-75. DOI: 10.2478/lpts-2024-0021

Коваль Д. О.

Студентка гр. ММ-41-22, ХНАДУ

Штих С. О.

Студент гр. ММ-61-24, ХНАДУ

Коваль А. О.

Доцент кафедри МБЖД, к.т.н., ХНАДУ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ТА КОРЕКЦІЇ ПОХИБОК ЮСТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Процеси калібрування та юстування відіграють ключову роль у забезпеченні точності та метрологічної надійності інформаційно-вимірювальних систем (ІВС). Юстування визначає взаємну просторову орієнтацію сенсорних каналів, впливаючи на точність відтворення фізичних параметрів об'єкта. Похибки юстування можуть виникати внаслідок термічних деформацій, механічних навантажень, старіння елементів або неточності монтажу. У динамічних умовах експлуатації такі похибки змінюються у часі, тому їхня оцінка і корекція мають бути адаптивними. Сучасні інтелектуальні методи – нейронні мережі, нечітка логіка, байєсівські моделі – дозволяють здійснювати онлайн-оцінювання параметрів юстування та автоматичну компенсацію похибок [1-3].

Дослідження присвячені розробці інтелектуальної технології оцінювання та корекції похибок юстування ІВС, що забезпечує підвищення точності просторової узгодженості вимірювальних каналів у реальному часі.

Запропонована технологія складається з трьох основних етапів: оцінювання поточних параметрів юстування за даними сенсорних каналів, виявлення відхилень від номінальних орієнтацій та корекція вимірювань на основі моделі похибок. Схему технології наведено на рис. 1.

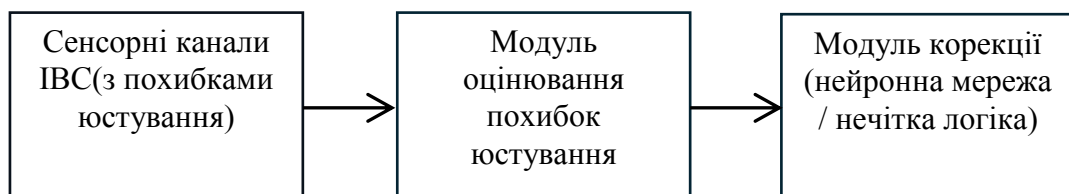


Рисунок 1 – Схема інтелектуальної технології оцінювання та корекції похибок юстування

Для оцінювання похибок використовується комбінований підхід: попереднє статистичне оцінювання за допомогою методу найменших квадратів та подальше уточнення параметрів за допомогою глибокої нейронної мережі. Мережа навчається на історичних даних юстування, враховуючи вплив температури, вібрацій і часу експлуатації. Нечіткий модуль визначає ступінь довіри до результатів сенсорів, забезпечуючи робастність корекції. Приклад динаміки корекції похибки подано на рис. 2.

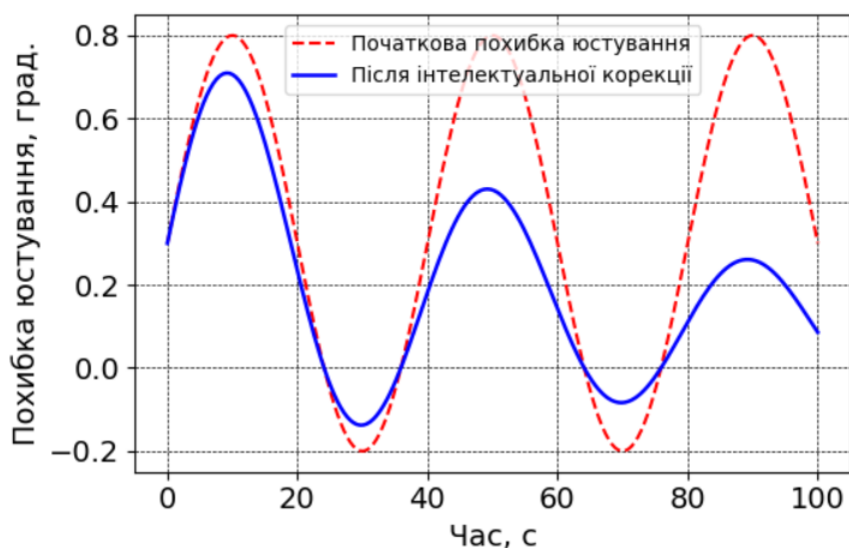


Рисунок 2 – Приклад корекції юстувальної похибки у часі

Моделювання виконано для ІВС з трьома координованими сенсорними каналами. Після застосування інтелектуальної корекції середня похибка орієнтації каналів зменшилася з $0,42^{\circ}$ до $0,08^{\circ}$, а похибка у визначенні положення зменшилась на 85 %. Алгоритм забезпечує стабільність при

дрейфі температури та випадкових механічних збуреннях, а також здатний автоматично компенсувати поступове розбалансування системи.

Розроблена інтелектуальна технологія дозволяє в реальному часі оцінювати та коригувати похибки юстування ІВС. Використання комбінації нейронних мереж і нечіткої логіки забезпечує високу точність просторової узгодженості каналів. Система здатна адаптуватися до змін зовнішніх факторів (температура, вібрація, старіння компонентів), забезпечуючи стабільну метрологічну надійність ІВС.

Перелік використаних джерел:

1. Li Y., Wang J., Xu X. Intelligent alignment error estimation in multi-sensor measurement systems using hybrid neural-fuzzy models. *Measurement*. 2023. Vol. 212. Article 112734.
2. Novak P., García D., Naya M. Á. Adaptive calibration and alignment correction for intelligent metrological systems. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 17568-17582.
3. Petrov I., Kovalchuk O., Rodríguez A. J. Self-calibrating intelligent measurement systems: alignment error compensation under dynamic conditions. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 11. Article 3568.
4. Zhou Y., Liu D., Bai Y. Machine learning-based spatial alignment correction for heterogeneous sensor arrays. *Measurement Science and Technology*. 2025. Vol. 36. Article 025102.
5. Yang J., Zhao X., Chen Z. Bayesian fusion framework for adaptive alignment of intelligent measuring systems. *Measurement*. 2025. Vol. 227. Article 115004.
6. Rodríguez A. J., Sanjurjo E., Naya M. Á. Intelligent alignment maintenance in cyber-physical metrological networks. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 7. Article 2719.

Секція 3

Проблемні питання прийняття рішень

Бажан Є. С.

Студент гр. ММ-61-24, ХНАДУ

Грайворонська І. В.

Доцент кафедри МБЖД, к.т.н., ХНАДУ

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ ДАНИХ У ПРОЦЕСІ ПРОМИСЛОВОЇ ОБРОБКИ

Забезпечення захисту даних під час промислової обробки – це складний і багатоетапний процес, який охоплює технічні, організаційні та правові заходи. Нижче наведено ключові аспекти впровадження безпеки даних у промисловому середовищі [1]:

1. Шифрування даних

- Під час зберігання: застосування технологій шифрування для захисту інформації, що зберігається на серверах, у базах даних або хмарних сховищах.
- Під час передачі: забезпечення безпеки даних у процесі передачі між пристроями, мережевими елементами та хмарними сервісами шляхом використання протоколів шифрування, таких як TLS/SSL.

2. Контроль доступу

- Аутентифікація та авторизація: застосування багатофакторної аутентифікації (MFA) для надійного підтвердження особи користувачів, а також використання рольового розподілу доступу для контролю прав до даних і систем.
- Ролі та політики доступу: розроблення чітких правил, які надають доступ до даних лише тим користувачам, для кого це потрібно з огляду на їхні службові обов'язки.

3. Виявлення та протидія вторгненням

- Системи виявлення вторгнень (IDS) та запобігання вторгненням

(IPS): Постійний моніторинг мережевої активності з метою виявлення підозрілих дій і своєчасного запобігання можливим атакам.

- Мережева сегментація: Сегментація мережі з метою обмеження поширення потенційних загроз і полегшення контролю доступу до критично важливих даних або поділ мережевої інфраструктури на ізольовані сегменти для мінімізації ризику поширення загроз і спрощення управління доступом до важливих ресурсів.

4. Моніторинг та аудит

- Логування: Журналювання всіх дій, пов'язаних із доступом до даних, що забезпечує можливість проведення ретроспективного аналізу у разі виникнення інциденту або здійснення запису всіх подій, пов'язаних із доступом до інформаційних ресурсів, з метою забезпечення подальшого аналізу у випадку інциденту безпеки.

- Моніторинг систем: Реалізація постійного моніторингу інформаційних систем та інфраструктури для оперативного виявлення відхилень і можливих загроз безпеці або цілодобовий моніторинг системних процесів та мережевої інфраструктури для своєчасного виявлення аномальної активності та потенційних кібератак.

5. Захист від шкідливого програмного забезпечення (ПЗ)

- Антивірусні програми та антишпигунське ПЗ: Застосування сучасних програмних засобів для виявлення та усунення шкідливого програмного забезпечення, здатного загрожувати безпеці даних або використання сучасного ПЗ для виявлення та ліквідації шкідливих програм, що можуть порушити захист даних.

- Патч-менеджмент: Своєчасне оновлення програмного забезпечення та операційних систем для усунення потенційних вразливостей, що можуть бути експлуатовані зловмисниками або регулярне впровадження оновлень ПЗ та операційних систем (ОС) для закриття вразливостей, здатних використовуватися шкідливими суб'єктами.

6. Резервне копіювання та відновлення даних

- Резервне копіювання: Регулярне створення резервних копій даних та їхнє зберігання у безпечному середовищі.
- План відновлення після збоїв (DRP): Створення та перевірка планів відновлення даних на випадок їх втрати або пошкодження.

7. Відповідність нормативним вимогам

- Виконання щодо вимог законодавства: Відповідність існуючим міжнародним та національним стандартам безпеки даних, наприклад, таким як GDPR, ISO/IEC 27001.
- Щодо політики конфіденційності: Впровадження і підтримка політик щодо охорони персональних і конфіденційних даних, а саме створення та дотримання політик захисту персональних даних і конфіденційної інформації.

8. Навчання персоналу (співробітників)

- Кібергігієна: Організація регулярних тренінгів для працівників з основ кібербезпеки, зокрема з розпізнавання фішингових атак, соціальної інженерії та інших кіберзагроз.
- Відповідальність співробітників (персоналу): Сприяння усвідомленню значущості безпеки даних та відповідальності за їхній захист на всіх рівнях організації.

Комплексне застосування цих заходів забезпечує зниження ризиків для безпеки даних у промислових процесах та захист критичних інформаційних ресурсів від можливих загроз.

Перелік використаних джерел:

1. Коваль О. А. Промислова обробка даних. Дистанційний курс ХНАДУ
<https://dl2022.khadi-kh.com/course/view.php?id=2947>

Блажко С. С.

Студент гр. ММ-41-22, ХНАДУ

Олійник Л. Г.

Студент гр. ММ-61-24, ХНАДУ

Коваль О. А.

Доцент кафедри МБЖД, к.т.н., ХНАДУ

МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ В МУЛЬТИСЕНСОРНІЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНІЙ СИСТЕМІ ТИСКУ

Мультисенсорні інтелектуальні інформаційно-вимірювальні системи (ПВС) тиску є ключовим елементом сучасних технологій контролю в гідравлічних, пневматичних і енергетичних комплексах. Вони інтегрують сенсори різних типів (тензорезистивні, ємнісні, п'єзоелектричні), забезпечуючи надлишкову інформацію про параметри тиску та стан об'єкта. Надмірність даних дозволяє підвищити достовірність результатів, але створює потребу в інтелектуальному аналізі для виявлення аномалій, дрейфу калібрування, шумів і відмов сенсорів. Сучасні алгоритми машинного навчання та нечіткої логіки дають можливість реалізувати автоматичне розпізнавання похибок і адаптивне коригування результатів [1-3, 7].

В роботі розглянуто удосконалений метод інтелектуального аналізу даних вимірювань у мультисенсорній ПВС тиску, що забезпечує точну класифікацію та компенсацію аномалій вимірювань на основі машинного навчання та статистичних моделей.

Аналіз даних у мультисенсорних системах виконується поетапно: попередня нормалізація, виявлення аномалій, класифікація типів похибок і адаптивна корекція сигналів. На першому етапі усуваються вибіркові викиди та виконується фільтрація сигналу з використанням медіанного фільтра. Далі

система обчислює міжсенсорні кореляції та формує вектор ознак для кожного каналу.

Для класифікації аномалій застосовано ансамблеву модель, що поєднує Random Forest, SVM та нейронну мережу LSTM. Модуль класифікації побудований на комбінації цих моделей. Вони продемонстрували ефективність у роботах [2, 4, 6]. Кожен алгоритм обробляє часові ряди тиску та прогнозує клас аномалії: зсув нуля, шум, дрейф, відмова або розсинхронізація. Об'єднання результатів відбувається за принципом більшості голосів, що забезпечує робастність при неповних або спотворених даних. На рис. 1 показано розподіл основних типів аномалій і похибок вимірювань у сенсорній мережі, отриманих під час навчання системи.

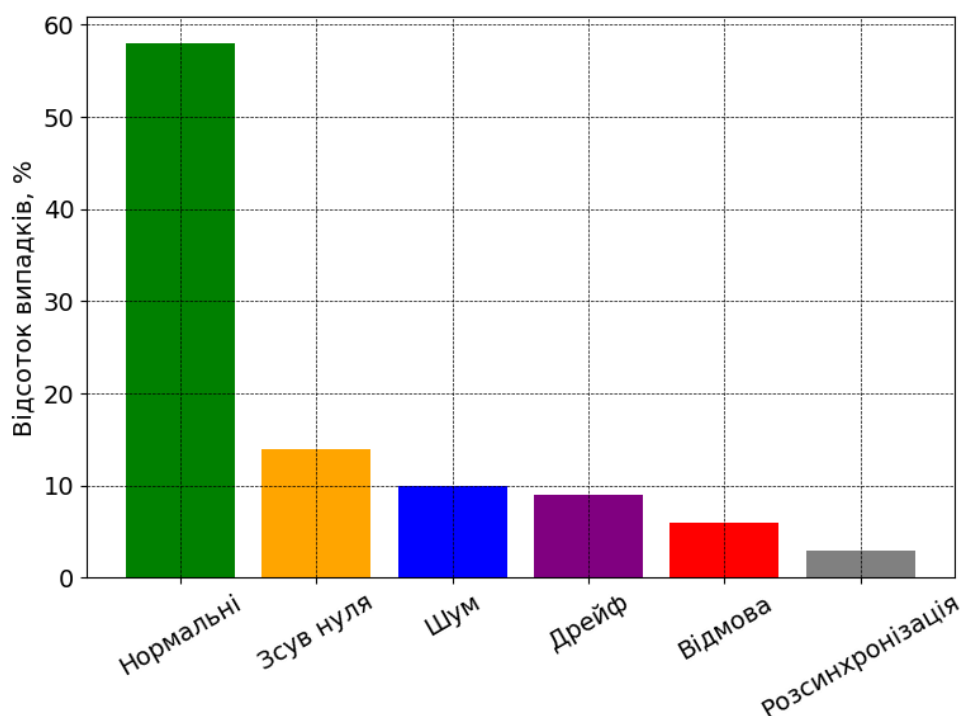


Рисунок 1 – Класифікація аномалій і похибок вимірювань у сенсорній мережі

Для кількісної оцінки ефективності розпізнавання типів аномалій у мультисенсорній ПВС тиску використано стандартні метрики машинного навчання:

– Precision (точність класифікації) – частка коректно розпізнаних

випадків певного класу серед усіх, віднесених моделлю до цього класу. Вона характеризує достовірність позитивних рішень моделі.

– Recall (повнота або чутливість) – частка правильно виявлених об’єктів певного класу серед усіх фактичних випадків цього класу. Цей показник важливий для оцінки здатності моделі виявляти рідкісні події (наприклад, відмови сенсорів).

– F-score (гармонічне середнє між Precision і Recall) – інтегральна метрика, що відображає компроміс між точністю і повнотою класифікації. Високе значення F свідчить про стабільність алгоритму.

– Accuracy (загальна точність класифікації) – відношення кількості правильно класифікованих прикладів до загальної кількості перевірених прикладів.

Для розробленої моделі середні значення метрик становили: Precision = 0,94, Recall = 0,92, F = 0,93, Accuracy = 0,95. Найвищу точність отримано для класів «зсув нуля» (Precision = 0,96) та «дрейф калібрування» (F = 0,95). Найскладнішими для розпізнавання виявилися класи «відмова сенсора» та «розсинхронізація каналів», що зумовлено схожими статистичними ознаками сигналів. Матриця точності класифікації (Confusion Matrix) для цих результатів наведена на рис. 2, де найвищі значення вздовж головної діагоналі відповідають коректним розпізнаванням.

Експериментальні дослідження підтвердили, що комбінована модель перевищує точність традиційних методів (KNN, Decision Tree) на 15 %. Найвищу ефективність показано при класифікації зсуву нуля (Precision = 0,96) і дрейфу калібрування (F = 0,95), тоді як найскладнішими виявилися випадки відмов сенсорів у присутності шуму. Загалом метод забезпечує стабільність ідентифікації при співвідношенні сигнал/шум до 10 дБ і забезпечує динамічну адаптацію моделі під час експлуатації.

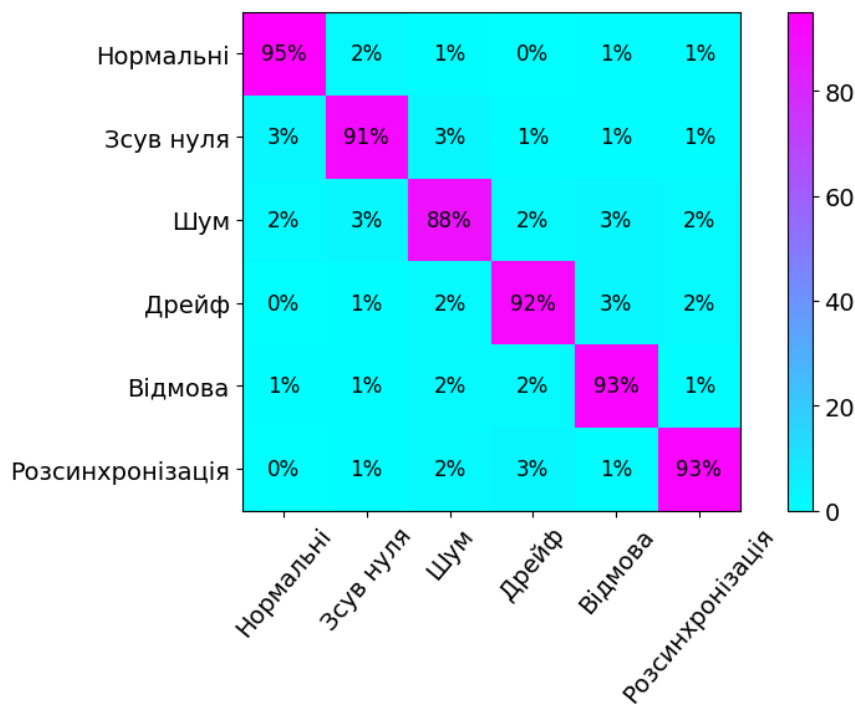


Рисунок 2 – Матриця точності класифікації (Confusion Matrix)

Удосконалений метод інтелектуального аналізу даних вимірювань у мультисенсорній ПВС тиску поєднує статистичні й машинні моделі. Досягнута точність класифікації (Accuracy $\approx 95\%$) відповідає результатам, отриманим у працях [4-8], де використовувались подібні підходи до діагностики сенсорних мереж. Розроблений підхід забезпечує автоматичну ідентифікацію та компенсацію похибок у режимі реального часу.

Перелік використаних джерел:

1. Li Y., Wang J., Chen Z. Data-driven fusion for pressure measurement in multisensor systems. Measurement. 2023. Vol. 214. Article 112893.
2. Novak P., García D., Petrov I. Intelligent anomaly detection in pressure sensor networks using fuzzy-ML models. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2024. Vol. 73. P. 1-12.
3. Bai Y., Zhou Y., Liu D. Multi-source data reliability evaluation in smart metrological systems. Measurement. 2024. Vol. 226. Article 114924.

4. Kovalchuk O., Rodríguez A. J., Naya M. Á. Hybrid machine learning approach for multisensor pressure calibration. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 8. Article 2768.
5. Zhang L., Zhao X., Xu X. Adaptive clustering-based fault detection in pressure measurement systems. *Measurement Science and Technology*. 2024. Vol. 35. Article 075204.
6. Petrov I., Sanjurjo E., Naya M. Á. Intelligent data analysis methods in cyber-physical measurement networks. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 4. Article 2452.
7. Yang J., Liu D., Chen M. Fuzzy-logic-based evaluation of measurement uncertainty in multi-sensor environments. *IEEE Access*. 2025. Vol. 13. P. 18952-18968.
8. Rodríguez A. J., García D., Novak P. Intelligent diagnostics of pressure sensor drift in industrial IoT. *Measurement*. 2025. Vol. 228. Article 115156.

Стрелець В. В.

Студент гр. ММ-41-22, ХНАДУ

Рябов О. Д.

Студент гр. ММ-61-24, ХНАДУ

Коваль О. А.

Доцент кафедри МБЖД, к.т.н., ХНАДУ

МЕТОД ПОЯСНЮВАЛЬНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБРОБКИ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Сучасні інтелектуальні інформаційно-вимірювальні системи (ІІВС) активно застосовують алгоритми штучного інтелекту (ШІ) для аналізу великих масивів даних вимірювань. Однак результати цих моделей часто залишаються непрозорими для інтерпретації, що знижує довіру до їхніх

прогнозів. Пояснювальний штучний інтелект (XAI) покликаний розкрити внутрішню логіку прийняття рішень моделі та забезпечити метрологічну відтворюваність результатів. Одним із ключових індикаторів є кількісна оцінка довіри до прогнозу (confidence score), яка показує ступінь впевненості моделі у своєму результаті [1-3].

Мета дослідження – розроблення методу пояснювального штучного інтелекту з інтегрованою оцінкою рівня довіри (confidence score) для підвищення достовірності, надійності та метрологічної трасовності результатів обробки вимірювань.

Оцінка довіри до прогнозу реалізується на основі ймовірнісного аналізу виходів моделі. Для нейронних мереж застосовується Softmax-нормалізація, яка перетворює вихідні значення на ймовірності належності до класів. У випадку ансамблевих моделей confidence score визначається як середня узгодженість прогнозів усіх підмоделей. Високі значення (понад 90 %) свідчать про стабільність і надійність результатів, тоді як низькі (менше 70 %) ініціюють повторне вимірювання або адаптацію моделі [4-6].

На рис. 1 наведено приклад оцінки довіри до прогнозів у пояснювальній системі ІІІ. Найвищий рівень довіри спостерігається для нормальних режимів роботи ІВС (96 %), тоді як у випадках відмови сенсора confidence score зменшується до 67 %. Це дає змогу алгоритму автоматично визначати критичні ситуації та ініціювати повторне вимірювання або калібрування сенсора.

Додатково для інтерпретації результатів використано метод SHAP, який оцінює внесок кожної вхідної ознаки у кінцевий прогноз моделі. Приклад розподілу впливів наведено на рис. 2.

Отримані результати демонструють, що включення оцінки довіри у пояснювальний модуль дозволяє підвищити ефективність діагностики на 18 %, а також зменшити кількість хибнопозитивних сигналів.

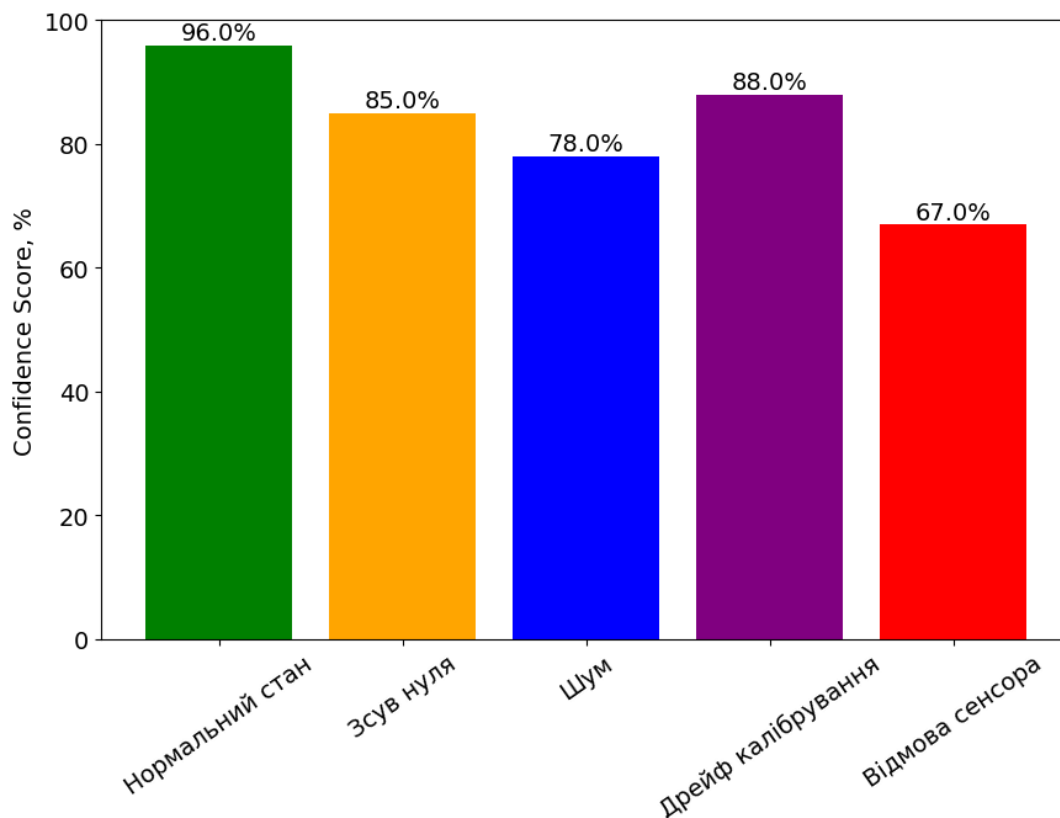


Рисунок 1 – Рівні довіри (Confidence Score) для різних типів прогнозів

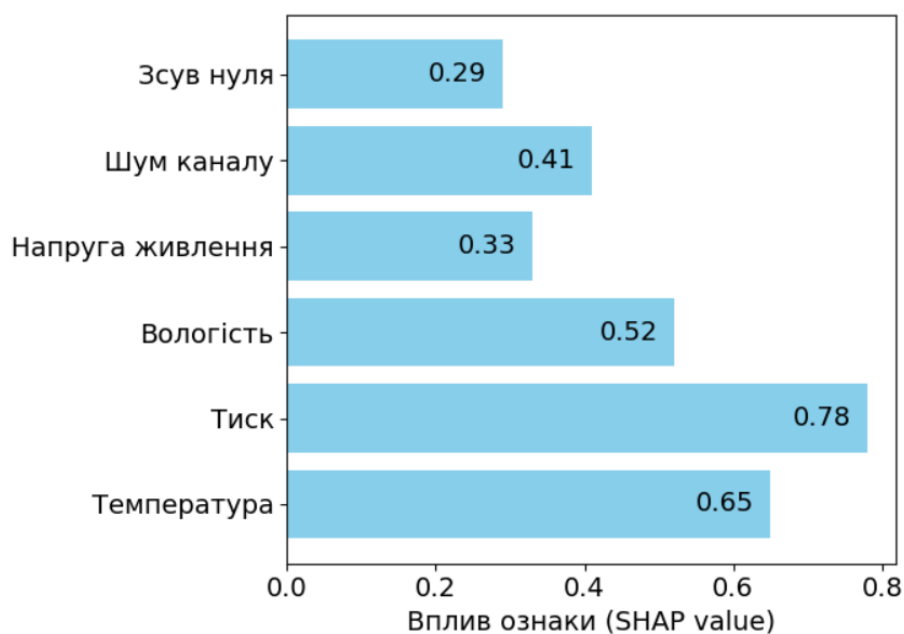


Рисунок 2 – Вплив параметрів на результати вимірювань (SHAP-аналіз)

Порогове значення $\text{confidence} \geq 80\%$ рекомендовано як мінімальний рівень для прийняття рішень у інформаційно-вимірювальних системах.

Порівняльний аналіз показав кореляцію між рівнем довіри та метрологічною похибкою ($r = -0,82$), що підтверджує адекватність методу ХАІ для контролю достовірності вимірювань [7-8].

Удосконалений метод пояснювального штучного інтелекту дозволив підвищити рівень довіри, який є ефективним показником надійності результатів ІІ-аналізу вимірювань. Запропонований підхід дозволяє виявляти потенційно недостовірні прогнози та підвищує метрологічну стабільність ІВС.

Перелік використаних джерел:

1. Molnar C. Interpretable Machine Learning: A Guide for Making Black Box Models Explainable. 2nd Edition. 2023.
2. Ribeiro M. T., Singh S., Guestrin C. 'Why Should I Trust You?': Explaining the Predictions of Any Classifier. Proceedings of KDD. 2023. P. 1135-1144.
3. Lundberg S., Lee S.-I. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions. Advances in Neural Information Processing Systems. 2024. Vol. 36. P. 4765-4777.
4. Zhou Y., Zhao X., Bai Y. Explainable deep learning for metrological reliability in sensor networks. Measurement. 2024. Vol. 228. Article 115201.
5. Petrov I., Novak P., García D. Integration of explainable AI for measurement data analysis. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2024. Vol. 73. P. 2859-2871.
6. Rodríguez A. J., Naya M. Á., Sanjurjo E. Interpretable machine learning for smart metrology. Sensors. 2025. Vol. 25, No. 5. Article 2841.
7. Bai Y., Kovalchuk O., Liu D. SHAP-based reliability interpretation for adaptive measurement systems. Measurement Science and Technology. 2025. Vol. 36. Article 045104.
8. Yang J., Chen Z., Wang J. Transparent AI models in cyber-physical measurement environments. IEEE Access. 2025. Vol. 13. P. 19456-19472.

Ус М. О.

Студент гр. ММ-61-24, ХНАДУ

Грайворонська І. В.

Доцент кафедри МБЖД, к.т.н., ХНАДУ

ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ДАНИХ

Промислова обробка даних – це процес, що включає збір, аналіз, зберігання та обробку великих обсягів інформації за допомогою сучасних технологій з метою підвищення продуктивності виробництва, оптимізації використання ресурсів та поліпшення якості продукції у промисловому секторі. У цьому процесі застосовуються методи машинного навчання, штучного інтелекту, Інтернету речей (IoT) та великих даних (Big Data) для отримання цінної інформації з великих масивів даних, що надходять із різних джерел: сенсорів, виробничих ліній, машин, логістичних систем та інших пристроїв.

Промислова обробка даних відіграє ключову роль у розвитку концепції «Індустрія 4.0», яка спрямована на впровадження сучасних технологій у промислове виробництво.

Процес обробки промислових даних включає низку важливих завдань, що визначають його ефективність та вплив на виробничі процеси [1]:

Збір та агрегування даних. Промислові підприємства накопичують значні обсяги інформації з різних джерел (сенсори, машини, системи управління та інші пристрої). Важливо забезпечити постійний збір і інтеграцію цих даних у єдину централізовану систему для подальшого аналізу.

Обробка та аналіз даних у реальному часі. Аналіз даних у режимі реального часу є критично важливим для оперативного ухвалення рішень у

промисловому середовищі, включно з виявленням відхилень, прогнозуванням можливих проблем та оптимізацією процесів.

Інтеграція з існуючими системами. Промислові дані слід інтегрувати з сучасними системами управління виробництвом, ERP-системами та іншими бізнес-процесами. Це забезпечує єдність даних і зменшує ризик повторного введення або помилок.

Забезпечення безпеки даних. У контексті зростаючої значимості даних, пріоритетним завданням є їх захист від несанкціонованого доступу, крадіжки або пошкодження.

Оптимізація процесів. Використання зібраних і оброблених даних дозволяє виявляти напрямки для оптимізації виробничих процесів, зниження витрат, а також підвищення продуктивності та якості продукції.

Прогнозування та підтримка ухвалення рішень. Застосування методів машинного навчання та штучного інтелекту дає змогу прогнозувати розвиток подій, наприклад, поломки обладнання, потребу в обслуговуванні або зміни попиту.

Відповідність стандартам. Обробка даних має відповідати галузевим нормативам і стандартам, включно з вимогами до якості, безпеки та екологічних норм.

Масштабованість. Система обробки даних повинна легко масштабуватися відповідно до зростання обсягів виробництва та кількості генерованих даних.

Виконання цих завдань сприяє підвищенню ефективності, адаптивності та конкурентоспроможності промислових підприємств завдяки застосуванню інноваційних технологій обробки даних.

Перелік використаних джерел:

1. Коваль О. А. Промислова обробка даних. Дистанційний курс ХНАДУ <https://dl2022.khadi-kh.com/course/view.php?id=2947>

*Швидкий М. О., здобувач вищої освіти
науковий керівник Роянов О. М., к.т.н., доцент,
доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

СПОСОБИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРОМИСЛОВИХ ЗОН

Сучасні промислові зони є складними техногенними об'єктами, в яких відбувається взаємодія людей, обладнання, інформаційних технологій та інфраструктурних об'єктів. Для забезпечення безпеки промислових зон потребує не лише фізичного контролю, а й ефективної обробки великих масивів даних, які надходять із сенсорних систем контролю та відеоспостереження, SCADA-комплексів (Supervisory Control And Data Acquisition), систем контролю доступу та інформаційних мереж.

Процес обробки даних для забезпечення техногенної безпеки повинний виконувати основні функції:

- моніторинг стану середовища та обладнання;
- виявлення аномалій і потенційних загроз;
- прогнозування ризиків нештатних ситуацій та підтримка прийняття рішень щодо їх попередження.

Таким чином, методи обробки даних стають основою для побудови інтегрованих систем безпеки, що поєднують технічні, організаційні та нормативні заходи.

Для здійснення комплексного контролю виробництв використовуються різні типи даних :

- сенсорні системи: датчики температури, тиску, газоаналізатори, вібраційні сенсори, детектори диму та руху;
- відеоспостереження;

- SCADA та MES-системи (Manufacturing Execution System): телеметрія технологічних процесів, журнали подій, контроль параметрів обладнання.

- системи контролю доступу: RFID-картки, біометричні ідентифікатори, електронні замки.

- інформаційні системи: мережеві логи, кіберзахисні журнали, дані з корпоративних серверів.

В даний час використовуються наступні методи обробки даних:

- первинна обробка, складу якої входять:

- фільтрація шуму та видалення некоректних записів;

- нормалізація даних до єдиного формату;

- агрегація для зменшення обсягу інформації без втрати суттєвих характеристик;

- аналіз у реальному часі:

- використання потокових платформ;

- виявлення аномалій у поведінці обладнання чи персоналу;

- автоматичне сповіщення операторів про критичні події;

- машинне навчання та штучний інтелект:

- класифікація подій: нормальні/аномальні;

- прогнозування відмов обладнання на основі історичних даних;

- комп'ютерний зір для аналізу відеопотоків;

- нейронні мережі для виявлення складних закономірностей;

- кореляційний аналіз:

- співставлення подій із різних джерел;

- виявлення багатофакторних загроз.

- геоінформаційні технології:

- відображення подій на карті промислової зони;

- визначення місць ризику;

- планування маршрутів евакуації.

З огляду масштабів можливих наслідків під час настання надзвичайної

ситуації на техногенному об'єкті слід передбачити технічні рішення щодо інформаційної системи керування технологічним процесом виробництва, які підвищать її ступінь захисту та безпеки [1, 2]:

- SIEM-системи (Security Information and Event Management) для централізованого збору й аналізу подій безпеки;
- IDS/IPS (Intrusion Detection/Prevention Systems) для виявлення та блокування можливих вторгнень ззовні;
- Edge computing для обробки даних безпосередньо на пристроях у небезпечних зонах;
- IoT-платформи для інтеграції сенсорів, хмарних сервісів та аналітики;
- Блокчейн для захисту журналів та архівів подій від фальсифікації.

Особливо важливим та значущим такий підхід буде у:

- хімічна промисловість, під час моніторингу витоків токсичних речовин;
- енергетика, для контролю доступу до трансформаторних підстанцій;
- металургія, для аналізу вібрацій для попередження аварій та руйнацій обладнання.
- логістика, для відстеження переміщення вантажів і контролю зон доступу.

Обробка даних для забезпечення безпеки промислових зон є складним багаторівневим процесом. До складу такого процесу входять збір, фільтрація, аналіз, прогнозування та візуалізація інформації. Використання сучасних технологій – від машинного навчання до блокчейну – дозволяє створювати проактивні системи безпеки, які не лише реагують на інциденти, а й запобігають їм. Під час проектування систем обробки даних промислових об'єктів також вкрай важливим є необхідність врахування зростання атак на промислові мережі, необхідність прийняття масштабованих рішень для обробки великих обсягів інформації, гармонізацію міжнародних стандартів та дотримання балансу між автоматизацією, інтелектуальним способом

контролю та контролем людини технологічних процесів виробництв.

Список використаної літератури:

1. ДСТУ ISO/IEC 27001:2023. Інформаційна безпека, кібербезпека та захист конфіденційності. Системи керування інформаційною безпекою. Вимоги (ISO/IEC 27001:2022, IDT). – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023. – 32 с.

2. ДСТУ EN IEC 62443-4-1:2019. Безпечність систем промислової автоматизації та керування. Частина 4-1. Вимоги до життєвого циклу розроблення безпечної продукції (EN IEC 62443-4-1:2018, IDT; IEC 62443-4-1:2018, IDT). – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 72 с.

Шнурко І. О., студент ХНАДУ

Петрукович Д. Є., к.т.н., доц., ХНАДУ

ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕГРАДАЦІЇ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ В СИСТЕМІ ДОРОЖНЬОЇ МАШИНИ

У розглянуто теоретичні та практичні аспекти прогнозування деградаційних процесів у сенсорах температури, що використовуються в системах дорожніх машин. Запропоновано інтелектуальний підхід до діагностики та прогнозування стану сенсорів на основі аналізу зміни їхніх метрологічних параметрів у часі.

Сенсори температури є важливими елементами вимірювальних систем дорожніх машин, що забезпечують контроль теплових режимів двигуна, гідросистем і гальмівних вузлів. У процесі тривалої експлуатації ці сенсори зазнають теплового старіння, вібраційних і механічних навантажень, що призводить до поступової деградації їх характеристик: дрейфу нуля, зміни чутливості та зростання похибки вимірювання.

Для забезпечення надійної роботи системи необхідно не лише виявляти факт деградації, а й прогнозувати її розвиток з метою своєчасного обслуговування та запобігання відмові.

Деградаційні процеси у сенсорах температури можна описати аналітичною залежністю:

$$S(t) = S_0(1 - \alpha t - \beta T(t)), \quad (1)$$

де S_0 - початкова чутливість,

α - коефіцієнт теплового старіння,

β - коефіцієнт температурного впливу,

$T(t)$ - робоча температура у функції часу.

Зміна вихідного сигналу сенсора у процесі експлуатації описується як:

$$U(t) = k(t) \cdot T(t) + \varepsilon(t), \quad (2)$$

де $k(t)$ - поточна чутливість, яка зменшується внаслідок деградації,

$\varepsilon(t)$ - випадкова похибка вимірювання.

Для оцінки тенденції деградації використовується ковзне середнє:

$$\bar{k}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k(t-i), \quad (3)$$

а швидкість зміни параметрів визначається похідною:

$$\frac{dk}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{k(t + \Delta t) - k(t)}{\Delta t}. \quad (4)$$

Якщо $\frac{dk}{dt} < k_{кр}$, то сенсор наближається до граничного стану, що потребує обслуговування.

Для прогнозування деградації використовується нейромережевий підхід, що базується на часових рядах змін параметрів сенсора. Модель типу LSTM (Long Short-Term Memory) або рекурентна нейронна мережа (RNN) здатна відстежувати довготривалі залежності між попередніми станами сенсора та прогнозувати майбутній рівень похибки:

$$\bar{k}(t + \tau) = F_N(k(t), k(t-1), \dots, T(t)) \dots \dots \dots (5)$$

Отримане прогнозне значення $\bar{k}(t + \tau)$ порівнюється з допустимим рівнем деградації, що дозволяє визначити залишковий ресурс сенсора:

$$R_{res} = t_{кр} - t_{поточ} . \quad (6)$$

Пропонований метод інтегрується у систему технічного обслуговування дорожньої машини.

Інтелектуальний модуль прогнозування отримує поточні показники сенсорів, обробляє їх за допомогою алгоритмів фільтрації та нейронної мережі, формує індикатор технічного стану сенсора.

У разі виявлення тенденції до деградації система генерує сигнал попередження або автоматично планує калібрування під час наступного технічного обслуговування.

Узагальнена структурна схема алгоритму прогнозування деградації сенсора температури представлена на рисунку 1.

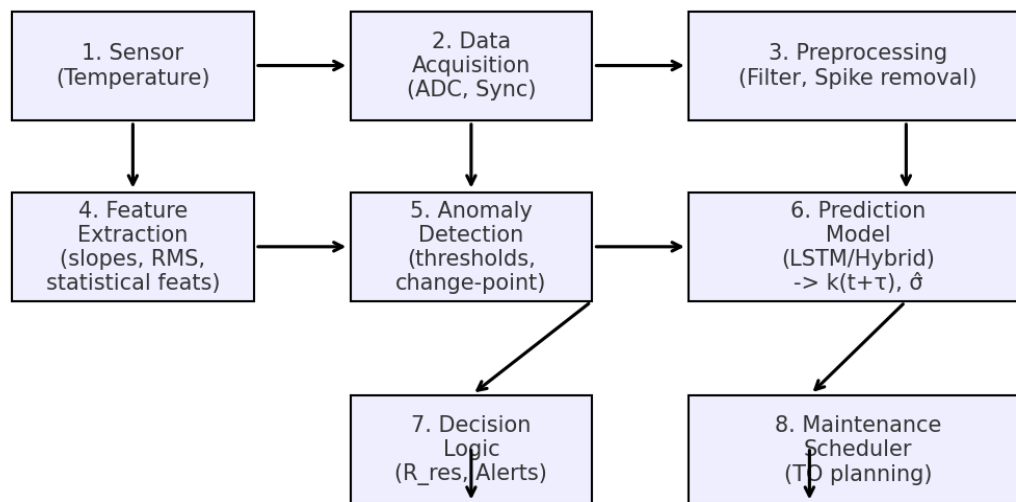


Рисунок 1 – Структурна схема алгоритму прогнозування деградації сенсора

Реалізація алгоритму прогнозування в системах дорожніх машин дозволяє зменшити ризик раптових відмов і підвищити надійність технічного обслуговування.

Прогноз деградації чутливості сенсора температури представлено на рисунку 2.

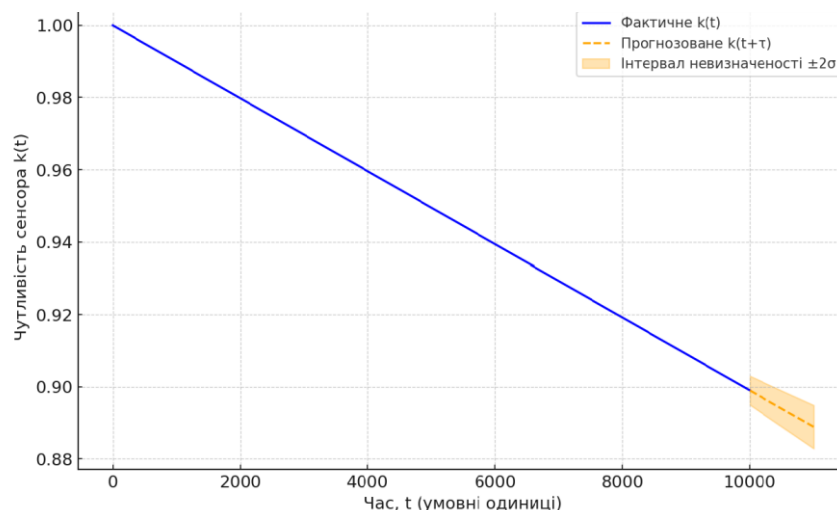


Рисунок 2 – Прогноз деградації сенсора температури

На графіку показано: синя крива - фактична зміна коефіцієнта чутливості $k(t)$, помаранчева пунктирна лінія - прогноз $k(t+\tau)$, світло-

помаранчева зона - інтервал невизначеності прогнозу ($\pm 2\sigma$), який відображає зростання ризику з часом.

Список літератури:

1. Гладких, В. І. Методи підвищення точності вимірювання параметрів у системах контролю дорожніх машин. // Вимірювальна техніка та метрологія, №2, 2021. - С. 45-51.
2. Волков, А. М. Діагностика деградації сенсорів температури в умовах теплового старіння. // Сучасні проблеми метрології та автоматизації, 2023. - С. 33-39.
3. Пінчук, В. І., Якушенко, О. М. Адаптивні алгоритми цифрової фільтрації сигналів. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 215 с.

Ялова К. А.

Студентка 4 курсу, ФБМІ

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У АІ-АСИСТОВАНІЙ ДІАГНОСТИЦІ ЗАХВОРЮВАНЬ ШКІРИ

Розвиток штучного інтелекту відкрив нові можливості у медичній діагностиці, зокрема у дерматології. Мобільні застосунки з вбудованими АІ агентами дозволяють користувачам сканувати шкірні утворення, передусім родинки, і отримувати попередню оцінку щодо виду захворювання. Однак широке впровадження таких технологій супроводжується низкою критичних проблем, пов'язаних з процесом прийняття медичних рішень. Розглянемо основні виклики, які виникають перед користувачами та медичними

фахівцями при використанні AI-асистованих додатків для виявлення захворювань шкіри та визначення подальшого лікування.

Одною з найважливіших проблем є обмежена точність AI моделей у розпізнаванні шкірних захворювань. Навчання нейронних мереж здійснюється на датасетах, які часто не охоплюють всю різноманітність клінічних проявів. Меланома, виявлена в ранній стадії, відрізняється від запущеної форми, а шкірні захворювання мають різні прояви залежно від типу шкіри, освітлення, кута фотографування та якості камери мобільного пристрою. Застосунок може припустити доброякісний невус, коли насправді це ранній меланом, або навпаки - спричинити необґрунтовану тривогу користувача. Такі помилки першого та другого роду мають серйозні наслідки: перший вид помилок призводить до психологічного стресу та непотрібних медичних процедур, другий - до затримки діагностики та лікування небезпечних захворювань.

Якість фотографії, зроблена користувачем, значно впливає на точність аналізу. Неправильне освітлення, розмиті зображення, невідповідна дистанція до об'єкта - все це може привести до невірних висновків AI. Користувачі часто не мають медичної підготовки для забезпечення належної якості матеріалу, що аналізується. Застосунок може, хоча й демонструвати впевнену оцінку, працювати з неадекватними вхідними даними, що ще більше ускладнює проблему діагностичної надійності.

Критичним питанням є визначення статусу AI агента в правовій системі. Чи це медичний пристрій, що вимагає регуляції? Чи це інформаційний сервіс, який не має вповноважень на медичну діагностику? У різних країнах законодавство по-різному розглядає цю проблему. FDA у США класифікує деякі AI системи як медичні пристрої, що потребують певних дозволів та сертифікацій. Однак багато мобільних застосунків існують у "сірій зоні", де їх статус залишається невизначеним, що створює правовий вакуум.

Коли користувач отримує від AI агента рекомендацію щодо діагнозу і не звертається до лікаря, а захворювання прогресує - хто несе відповідальність? Розробник застосунку? Користувач, який покладався на AI без поради медика? Проблема посилюється тим, що більшість користувачів сприймають рекомендації AI як більш авторитетні, ніж вони насправді є. Правові системи переважної більшості країн ще не мають чітких механізмів для розв'язання таких ситуацій, що залишає як розробників, так і користувачів у правовій невизначеності.

Користувачі часто не усвідомлюють межі можливостей AI агентів. Вони можуть сприймати рекомендацію застосунку як остаточний діагноз, тоді як насправді це лише попередня гіпотеза, яка вимагає підтвердження фахівця. Застосунок повинен чітко повідомляти про свої обмеження, але на практиці такі попередження часто розміщуються дрібним шрифтом або за складною юридичною мовою, яку користувач не розуміє. Відсутність справжньої інформованої згоди означає, що користувач не може адекватно оцінити ризики, пов'язані з використанням таких технологій.

Більшість AI моделей для медичної діагностики працюють за принципом "чорної скриньки" - користувач не розуміє, на основі яких ознак модель прийшла до висновку. Це викликає недовіру та утруднює можливість користувача критично оцінити рекомендацію. Медичний фахівець, розглядаючи рішення AI, потребує розуміння його логіки для того, щоб визначити, чи є рекомендація обґрунтованою в конкретному клінічному контексті. Прозорість алгоритму є необхідною передумовою для того, щоб технологія служила інструментом підтримки рішень, а не просто джерелом непояснених рекомендацій.

Дослідження в галузі психології показують, що люди схильні надавати більшої ваги рішенням, які видаються технологічно складними та автоматизованими. "Ефект цифрового авторитету" означає, що користувачі часто некритично приймають рекомендації AI, особливо якщо вони

презентуються як науково обґрунтовані. Це може привести як до гіпердіагностики, коли людина починає проходити непотрібне лікування, так і до гіподіагностики, коли вона ігнорує сигнали реальної небезпеки через надмірну впевненість у точності застосунку.

Використання застосунку для самодіагностики може збільшити рівень тривоги користувача. Знання про можливе захворювання без можливості негайної консультації з лікарем часто призводить до стресу та паніки. З іншого боку, некритичне ігнорування рекомендацій AI також є проблемою, особливо якщо людина вважає, що AI не досить "розумний". Користувач опиняється в ситуації невизначеності, яка психологічно дискомфортна і не сприяє раціональному прийняттю рішень щодо звернення до лікаря.

Лікарі дерматологи, використовуючи результати AI аналізу, стикаються з дилемою: чи довіритися власному клінічному досвіду, чи поважити висновок AI? Якщо лікар розуміє, що AI рекомендує звернення до онколога для меланому, але клінічно не бачить ознак малігнізації, як мати баланс? Надмірна залежність від AI може привести до професійної деградації лікарів, які перестають критично мислити. Водночас, ігнорування AI рекомендацій може привести до пропуску захворювання. Це вимагає розроблення нових підходів до інтеграції автоматизації в медичну практику.

Застосунки часто ефективніші для людей з певними типами шкіри, на яких вони були попередньо протестовані. Це позбавляє користувачів з іншими типами шкіри таких же можливостей точної діагностики. Це створює проблему справедливості у доступі до медичних технологій та може посилити існуючі диспропорції у охороні здоров'я. Людям з особливими типами шкіри може надаватися гірша якість діагностики, що є серйозною проблемою етичного характеру.

Розробники мають включати детальні, зрозумілі для користувача попередження про обмеження AI. Застосунок повинен активно спрямовувати користувача до консультації з лікарем, особливо при детектуванні

потенційно небезпечних станів. Крім того, важливо розробляти механізми, які допомагають користувачеві зрозуміти, як саме AI прийшов до своїх висновків, дозволяючи йому критично їх оцінити.

Потрібна міжнародна гармонізація стандартів для AI-асистованих медичних застосунків. Законодавство повинно чітко визначити, коли застосунок класифікується як медичний пристрій і які обов'язки на нього накладаються. Регуляторні органи мають встановити вимоги щодо тестування ефективності на різних групах населення та механізми ліцензування таких застосунків.

Критична медична грамотність серед населення повинна стати пріоритетом. Користувачі мають розуміти, що AI - це інструмент для попередньої оцінки, а не заміна лікаря. Освітні програми мають допомогти людям критично сприймати рекомендації технологій і знати, коли потрібна негайна консультація фахівця. Також важливо навчити лікарів правильно працювати з результатами AI аналізу, розуміючи як їх переваги, так і обмеження.

AI агенти для діагностики захворювань шкіри мають значний потенціал для покращення доступу до медичної допомоги, але їх впровадження пов'язане з серйозними етичними, правовими та психологічними проблемами. Ключ до безпечного та ефективного використання таких технологій полягає у чіткій комунікації про їх обмеження, встановленні правових стандартів і розвитку критичного мислення у користувачів. Застосунки з AI агентами не повинні розглядатися як заміна професійній медичній консультації, а як допоміжні інструменти, які можуть оптимізувати процес прийняття рішень як для пацієнтів, так і для лікарів. Лише за умови комплексного підходу до вирішення цих проблем технологія зможе стати справді цінним ресурсом у сучасній охороні здоров'я.

Список використаної літератури:

1. Bhardwaj A. Promise and provisions of artificial intelligence and machine learning in healthcare. *J Healthc Leadersh.* (2022) 14:113–8. 10.2147/JHL.S369498
2. Morgan Stanley J. What Are the Legal Implications of AI and Machine Learning in Medical Malpractice Cases? <https://www.pbglaw.com/blog/what-are-the-legal-implications-of-ai-and-machine-learning-in-medical-malpractice-cases/>
3. Erika Sophia Grossbard, The AI-Robotic Prescription: Legal Liability When an Autonomous AI Robot is Your Medical Provider, 33 U. MIA Bus. L. Rev. 273 ()
4. Michelle M. Mello, Neel Guha, Understanding Liability Risk from Healthcare AI <https://hai.stanford.edu/assets/files/2024-02/Liability-Risk-Healthcare-AI.pdf>
5. Vasey B., Nagendran M., Campbell B., Clifton D.A., Collins G.S., Denaxas S., Denniston A.K., Faes L., Geerts B., Ibrahim M., Reporting guideline for the early-stage clinical evaluation of decision support systems driven by artificial intelligence: DECIDE-AI

Секція 4

Ліквідація наслідків аварій на техногенно небезпечних об'єктах

Богомол Д. С., здобувач вищої освіти

Черепньов І. А., к.т.н., доцент

Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Пісня Л. А., к.т.н.

*Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний
інститут екологічних проблем», м. Харків*

АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ПЕСТИЦИДІВ НА ПРАЦІВНИКІВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Сільське господарство забезпечує продовольчу безпеку кожної держави, незалежно від розміру внесків у валовий внутрішній продукт (ВВП). Наприклад, для Італії це 2,1 % ВВП і забезпечення роботою близько 1,3 мільйона чоловік [1]. Сільське господарство забезпечує продовольчу безпеку кожної держави, незалежно від розміру внесків у валовий внутрішній продукт (ВВП). Наприклад, для Італії це 2,1 % ВВП і забезпечення роботою близько 1,3 мільйона чоловік [1]. Для України на момент 2024 року ці показники склали: 19 % ВВП і робочі місця для 17 % населення [2]. Сільськогосподарське виробництво і, особливо сектора рослинництва і тваринництва в значній мірі залежать від кліматичних умов. В останні десятиліття спостерігається зміна клімату і збільшення числа надзвичайних ситуацій (НС) природного походження. Як зазначено в [1] зросла кількість негативних наслідків, які викликані екстремальними погодними явищами і типом економічної діяльності (вплив пестицидів, задимлення, надлишок вологості). Професійний вплив пестицидів пов'язаний з підвищеним ризиком гострих та хронічних наслідків для здоров'я, включаючи рак. працівники сільського господарства більш вразливі, ніж звичайні працівники несільськогосподарського сектору, оскільки вони піддаються більшому ризику впливу пестицидів [3]. За даними дослідження, яке було проведено в

Індії найчастіше працівники ферм повідомили про наступні симптоми захворювання (наведено в порядку зменшення кількості скарг): слабкість, свербіж шкіри, почервоніння очей, діарея, головний біль, нудота, біль у животі, відчуття печіння в очах, погіршення зору, запаморочення, підвищене слиновиділення, нежить, блювота, утруднене дихання [4]. Враховуючи вищесказане, слід вплив використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) на мінімізацію наслідків впливу пестицидів серед працівників ферм. Аналогічна задача була вирішена авторами в [5]. В цій роботі розглядалася трудова діяльність в індустріальній сфері та медицині і ризик виникнення професійних захворювань. Було виявлено стійку тенденцію повного або часткового ігнорування значної частини працівників використання ЗІЗ у процесі трудової діяльності. Більш того, демонстративна відмова від застосування ЗІЗ, а також утримання їх в працездатному стані в пожежних підрозділах США і Великобританії є символом мужності і професіоналізму [6]. У [4] представлені результати опитування 180 працівників ферм розташованих в Індії щодо їх забезпечення та використання ЗІЗ. Було встановлено, що 99 % працівників з різних причин не використовували ЗІЗ при роботі з пестицидами. На підставі цих даних нами складена діаграма, яка наведена на рис. 1. Для порівняння на рис.2 ми представили дані щодо анкетування робітників, які задіяні в промисловості карбїду кремнію, ферро- і кремнієвих сплавів. В анонімних анкетах вони перерахували обґрунтування своєї відмови від використання засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) [5]. Багато відповідей збігаються. Це дозволяє зробити висновок про те, що ця небезпечна тенденція носить транснаціональний характер і поширюється на всі сфери виробництва.

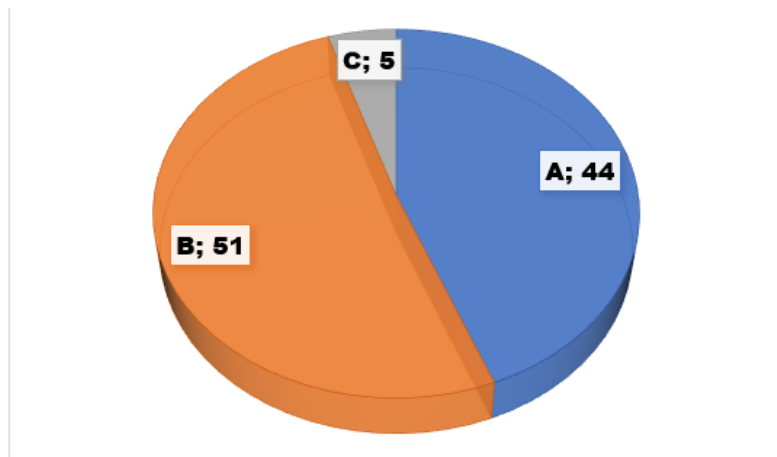


Рисунок 1 – Основні причини відмови працівників ферм від використання при роботі з пестицидами (%), де: А – незручність в носінні; В – неможливість їх отримання; С – відчуття задухи при надяганні [4].

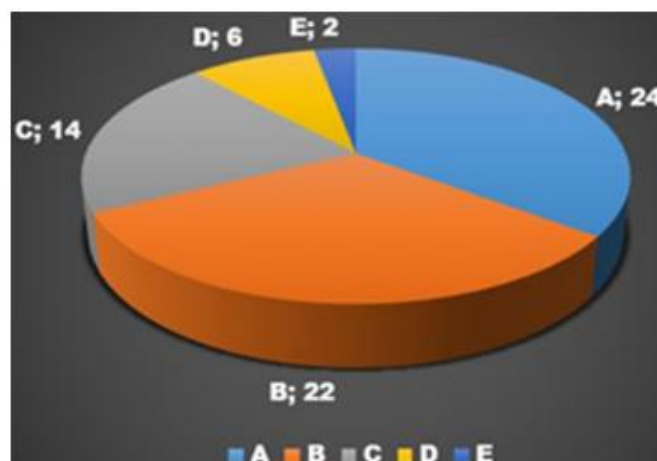


Рисунок 2 – Причина не носити ЗІЗОД (%), де: А – носіння утруднює дихання; В – незручно у використанні; С – ЗІЗОД недоступний для мене; D – ніхто інший навколо мене не використовує ЗІЗОД; Е – це не забезпечує мені хорошого захисту

В [3] піднімається дуже важлива проблема, яка особливо актуальна для країн з низьким і середнім рівнем доходу. Йдеться про те, що працівники зазвичай носять повсякденний одяг з тканих матеріалів під час застосування пестицидів. Фахівці з Таїланду провели випробування різних тканих матеріалів з точки зору їх здатності протистояти проникненню пестицидів на шкіру. В результаті було зроблено висновок: тканина з натуральним

полімерним покриттям є альтернативним матеріалом для захисту від пестицидів сільськогосподарських працівників у країнах з низьким і середнім рівнем доходу, коли комерційні ЗІЗ коштують непомірно дорого.

Література:

1. Cesco S., Ascoli D., Bailon L., and all. Smart management of emergencies in the agricultural, forestry, and animal production domain: Tackling evolving risks in the climate change era. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2024. Vol. 114. 105015. doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.105015.

2. Україна отримую від агросектору 19 % ВВП та 70 % експортного виторгу. *AgroPolit.com*: веб-сайт: URL: <https://agropolit.com/news/29098-ukrayina-otrimuyu-vid-agrosektoru-19-vvp-ta-70-eksportnogo-vitorgu> (дата звернення: 26.10. 2025).

3. Sapbamrer R., Naksata M., Hongsibsong S. How to protect agricultural workers from exposure to pesticides: Effectiveness of woven and natural resin-coated fabrics. *Cogent Engineering*. 2021. Vol. 8, №1. doi.org/10.1080/23311916.2021.1932241.

4. Lari S., Yamagani P., Pandiyan A. and all. The impact of the use of personal-protective-equipment on the minimization of effects of exposure to pesticides among farm-workers in India. *Frontiers in Public Health*. 2023. Vol. 11. 1075448. doi: 10.3389/fpubh.2023.1075448.

5. Управління ризиком професійних захворювань при використанні засобів індивідуального захисту органів дихання / В. Ю. Дубницький та ін. *Системи обробки інформації*. 2024. № 1 (176). С. 17-28. doi.org/10.30748/soi.2024.176.03.

6. Чумаченко С. М., Антощенков Р. В., Черепньов І. А. Засоби індивідуального захисту як джерело токсичної небезпеки для пожежників. *Актуальні проблеми та інноваційні технології у сфері цивільного захисту та екологічної безпеки для повоєнного відновлення України*: зб. наук. праць Міжнар. наук.-практ. конф., 28-30 трав. 2024 р. Київ, 2024. С. 88-92.

Волчанов Д. В., студент гр. А-51-25

Кравцов М. М., доцент, к.т.н, наук. керівник

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЕКОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ: ШЛЯХ ДО ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ

Забруднення атмосферного повітря автотранспортом є однією з основних екологічних проблем сучасності. Частка викидів від транспортних засобів у загальній структурі забруднень становить понад 40 %, що зумовлює потребу у впровадженні нових технологій захисту природи та людини.

Екологічні інновації електричних (EV) та гібридних автомобілів (HEV та PHEV) мають ключове значення для зменшення впливу транспорту на довкілля. Вони зосереджені на підвищенні енергоефективності, зниженні викидів та оптимізації життєвого циклу транспортних засобів [1].

Зниження викидів та шумового забруднення – ключова екологічна перевага електрифікованих автомобілів: нульові викиди (для EV) та значне зниження (для гібридів). Електромобілі не виділяють вихлопних газів (CO_2 , NO_x , частинки) під час руху, особливо в міському циклі. Гібриди, завдяки частковому або повному руху на електротязі, суттєво зменшують споживання палива та викиди, особливо в режимі "старт-стоп" та на низьких швидкостях. Регенеративне гальмування – інноваційна система, що дозволяє перетворювати кінетичну енергію, яка зазвичай втрачається під час гальмування, назад в електричну енергію для заряджання акумулятора. Це підвищує ефективність і зменшує зношування гальмівних колодок. Зменшення шумового забруднення: електричні двигуни працюють значно тихіше, ніж двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), що покращує якість життя у містах.

Інновації в акумуляторних технологіях – акумуляторна батарея є серцем електрифікованого транспорту, і її розвиток має вирішальне значення для екологічності: твердотільні батареї – майбутня технологія, яка обіцяє вищу енергоємність (більший запас ходу), швидше заряджання та підвищену безпеку (менший ризик займання) порівняно з сучасними літій-іонними [2].

Оптимізація складу – пошук альтернативних матеріалів та зниження залежності від дефіцитних та екологічно чутливих компонентів, таких як кобальт і нікель. Дослідження натрій-іонних та літій-сірчаних акумуляторів.

Системи терморегулювання: Удосконалені системи охолодження та підігріву батарей, що дозволяють підтримувати оптимальну температуру, продовжуючи термін служби акумулятора та підвищуючи ефективність його роботи, особливо в умовах екстремальних температур.

Ефективність та інтеграція: інновації, спрямовані на максимальне використання енергії та інтеграцію з енергосистемою: Vehicle-to-Grid (V2G) та Vehicle-to-Home (V2H): технології, які дозволяють електромобілю не лише споживати енергію для заряджання, але й віддавати її назад в електромережу (V2G) або для живлення будинку (V2H). Це перетворює автомобіль на мобільне енергосховище, допомагаючи стабілізувати енергосистему та інтегрувати відновлювані джерела енергії [3].

Використання легких матеріалів: Застосування вуглецевого волокна, високоміцних сталей та легких алюмінієвих сплавів для зменшення загальної маси автомобіля, що прямо пропорційно зменшує енергоспоживання (і, відповідно, викиди при виробництві електроенергії чи спалюванні палива). Аеродинамічні інновації: Оптимізація форми кузова для зменшення опору повітря, що значно підвищує ефективність, особливо на високих швидкостях[4].

Управління життєвим циклом – екологічність виходить за межі експлуатації і стосується всього життєвого циклу автомобіля: переробка батарей – розробка економічно вигідних та ефективних процесів для

переробки літій-іонних акумуляторів із відновленням цінних матеріалів (літій, кобальт, нікель). Це є ключовим для зменшення екологічного сліду виробництва. Вторинне використання: використання автомобільних батарей, які вже не придатні для транспорту, але все ще мають значний залишковий заряд, як стаціонарні накопичувачі енергії для домівок або електромереж. Екологічні матеріали в інтер'єрі – використання перероблених, відновлюваних або рослинних матеріалів (наприклад, перероблений пластик, екологічна шкіра) для оббивки та внутрішніх компонентів, що зменшує залежність від нафтопродуктів [5].

Висновок. Екологічна модернізація автомобільного транспорту потребує комплексного підходу. Повна електрифікація не є універсальним вирішенням проблеми, але в поєднанні з розвитком технологій утилізації, удосконаленням паливних систем і використанням чистих джерел енергії вона може забезпечити реальне зниження негативного впливу транспорту на природу.

Список використаної літератури:

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>.
2. Екологія та автомобільний транспорт: навч. посібн. / Ю. Ф. Гутаревич, Д. В. Зеркалов, А. Г. Говорун, А. О. Корпач, Л. П. Мержиєвська. – Вид. 2-ге, [перероб. та доп.]. – К. : Вид-во "Арістей", 2008. – 296 с.
3. Гутаревич Ю. Ф. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник / Ю. Ф. Гутаревич, Д. В. Зеркалов. – Київ: Арістей, 2006. – 296 с.
4. Про міський електричний транспорт : Закон України від 29.06.2004 № 1914-IV URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1914-15#Text> (дата звернення: 15.11.2023).
5. Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрозарядної інфраструктури та

електричних транспортних засобів: Закон України від 24.02.2023 № 2956-IX
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2956-20#Text> (дата звернення:
25.11.2023).

Курилюк О. М.

*аспірант Національного університету водного
господарства та природокористування, м. Рівне*

ЛІКВІДАЦІЯ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ НА ТЕХНОГЕННО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ ЗА ДОПОМОГОЮ АВТОНОМНОЇ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ

В умовах воєнного стану, руйнування промислових підприємств, енергетичних комплексів і об'єктів критичної інфраструктури різко зростає ризик виникнення аварій із техногенними забрудненнями довкілля. Одним із найбільш небезпечних наслідків таких подій є потрапляння у водні ресурси токсичних сполук, важких металів, нафтопродуктів, амонійних і нітритних домішок, а також патогенних мікроорганізмів. Це призводить до неможливості використання природних джерел води для питних і господарських потреб, створюючи загрозу життю та здоров'ю населення.

Для оперативного реагування на такі ситуації важливо мати технічні засоби, здатні швидко забезпечити очищення та знезараження води в польових умовах. Одним із перспективних рішень є автономна мобільна установка комбінованої дії, призначена для ліквідації наслідків аварій на техногенно небезпечних об'єктах і забезпечення населення безпечною водою [1].



Рисунок 1 – Автономна мобільна установка для комбінованої фільтрації та електрохімічного очищення води до питних стандартів

Конструкція установки виконана за модульним принципом, що дозволяє легко транспортувати її до місця події, швидко зібрати та запустити без потреби у зовнішніх комунікаціях. Система може працювати від автономних джерел енергії – акумуляторів, генераторів або сонячних панелей – і не потребує хімічних реагентів для знезараження [2].

Основою технологічного процесу є поєднання електрохімічного синтезу активних окисників (зокрема діоксиду хлору) з багатоступеневим фільтраційно-сорбційним очищенням [1]. Отриманий у результаті електролізу дезінфікуючий агент ефективно знищує віруси, бактерії та органічні забруднювачі, не утворюючи токсичних побічних сполук. На наступних етапах вода проходить через каскад механічних і сорбційних фільтрів, які забезпечують глибоке видалення завислих частинок, важких металів, нітратів, сполук амонію, органічних домішок і продуктів нафтопереробки.

Для покращення смакових властивостей і зниження вмісту розчинених газів використовується аераційний модуль. Завдяки цьому очищена вода відповідає вимогам питної води за органолептичними та санітарно-хімічними показниками.

Польові експериментальні дослідження проводилися на дослідному зразку установки продуктивністю до 130 м³/добу. Випробування здійснювалися на воді з відкритих водойм зі змішаним органо-мінеральним типом забруднення, характерним для зон після техногенних аварій. Результати показали високу ефективність системи [3]:

- вміст нітритів знижувався з 2,0 до < 0,03 мг/дм³,
- амонію – з 0,8 до < 0,05 мг/дм³,
- заліза загального – з 1,2 до < 0,1 мг/дм³,
- кольоровість води зменшувалась із 60 до 10 градусів,
- мутність після очищення становила 0,5 НОК,

Це повністю відповідає вимогам ДСТУ 7525:2014. Система забезпечує стабільну роботу навіть у складних умовах довкілля та може експлуатуватись тривалий час без спеціального обслуговування. Низьке енергоспоживання (до 0,35 кВт·год/м³) робить установку придатною для використання в польових умовах, зокрема під час аварій на водоочисних спорудах, проривів дамб, вибухів на хімічних підприємствах або руйнування систем централізованого водопостачання [3].

Розроблена технологія може бути застосована у системі цивільного захисту, підрозділами ДСНС, військовими формуваннями та гуманітарними місіями. Її використання дозволяє оперативно організовувати пункти забезпечення питною водою, знижувати ризик поширення інфекційних захворювань і мінімізувати екологічні наслідки техногенних аварій.

Таким чином, автономна мобільна система комбінованого очищення води є ефективним інженерним рішенням для ліквідації наслідків аварій на техногенно небезпечних об'єктах. Її впровадження підвищує стійкість систем життєзабезпечення в надзвичайних ситуаціях, сприяє швидкому відновленню санітарно-гігієнічних умов та формує технологічну основу для створення сучасних засобів польової водопідготовки [2, 3].

Список використаної літератури:

1. Міхалєва М. С., Світлик І. В. Можливості використання електрохімічних технологій для модифікування властивостей та контролю якості води. / Technology audit and production reserves – № 3/1(17), 2014. – С. 31-33.
2. Патент на КМ № 119008. Діафрагмовий електролізер Филипчака для активації води. Опубліковано 11.09.2017, бюл. № 17
3. Патент на КМ № 158687. Водоочисний комплекс Курилюка-Сулими. Опубліковано 05.03.2025, бюл. № 10

Нечаус А. О., студент гр. АД-51-25

Кравцов М. М., доцент, к.т.н., наук. керівник

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАТЧИКІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

Питання визначення якості атмосферного повітря, пов'язане з виконанням сучасних суворих екологічних вимог, які спрямовані на зменшення шкідливих викидів промисловими підприємствами, а також транспортними засобами. Крім того, враховуючи сучасну політичну обстановку в Україні, ці питання також мають значну актуальність, зокрема і у рамках цивільного захисту. Враховуючи підвищення екологічних вимог, отримали подальшого розвитку і засоби моніторингу якості атмосферного повітря, оскільки точність та якість вимірювання також повинні підвищуватися, забезпечуючи об'єктивність вимірювань і виключаючи невинуватні штрафні санкції, які передбачені законодавством за порушення екологічних вимог. Аналізатор якості повітря – це електронний пристрій, який вимірює концентрацію шкідливих домішок у повітрі (твердих частинок,

газів, летких органічних сполук, CO₂ тощо) за допомогою набору датчиків. Основні етапи роботи аналізатора: забір повітря, що природно потрапляє у камеру аналізатора, або примусово подається за допомогою насоса чи мікровентилятора; вимірювання – у середині пристрою розміщені різні типи датчиків (оптичні, електрохімічні, напівпровідникові тощо), які змінюють свої параметри залежно від складу повітря; оцифровування даних – аналоговий сигнал датчика перетворюється на цифровий; обробка – мікроконтролер обчислює концентрації передбачених складових повітря і виводить індекс якості повітря (AQI); відображення та передача – дані виводяться на екран приладу або надсилаються у систему моніторингу через Wi-Fi, Bluetooth тощо.

Датчик дрібнодисперсного пилу (PM2.5, PM10). Тип датчика – оптичний (лазерний або ІЧ-розсіяння) [1]. Принцип роботи – повітря пропускається через вимірювальну камеру, де проходить лазерний промінь; частинки пилу розсіюють світло. Фотоелемент вимірює інтенсивність розсіяного світла, яка пропорційна кількості частинок. Мікроконтролер обчислює розподіл частинок за розміром PM1, PM2.5, PM10.

Таблиця 1 – Датчики дрібнодисперсного пилу

Модель	Параметри вимірювання	Чутливість	Точність	Діапазон вимірювань
Plantower PMS5003	PM1.0, PM2.5, PM10	1 мкг/м ³	±10%	0 – 500 мкг/м ³
Honeywell HPMA115S0	PM2.5, PM10	1 мкг/м ³	±15%	0 – 1000 мкг/м ³
Nova SDS011	PM2.5, PM10	0.3 мкг/м ³	±10%	0 – 999 мкг/м ³

Датчик CO₂ [2]. Тип датчика: NDIR (Non-Dispersive Infrared Sensor – недисперсійний інфрачервоний). Принцип роботи: усередині сенсора є ІЧ-джерело і детектор; CO₂ поглинає інфрачервоне випромінювання на певній довжині хвилі (~ 4,26 мкм); чим більша концентрація CO₂, тим менше світла доходить до детектора; мікроконтролер розраховує концентрацію (у ppm).

Таблиця 2 – Датчики CO₂

Модель	Принцип роботи	Чутливість	Точність	Діапазон вимірювань
Sensirion SCD30	ІЧ-абсорбція	±(30 ppm + 3%)	висока	400 – 10 000 ppm
Senseair S8	NDIR	±(50 ppm + 3%)	середня	400 – 5000 ppm
MH-Z19B	NDIR	±(50 ppm + 5%)	середня	400 – 5000 ppm

Датчик VOC/TVOC (леткі органічні сполуки) [3]. Тип датчика: напівпровідниковий (MOS – Metal Oxide Semiconductor). Принцип роботи: сенсор має шар напівпровідникового оксиду (наприклад, SnO₂); при наявності органічних газів поверхневий опір змінюється; ця зміна перетворюється на електричний сигнал, пропорційний концентрації VOC.

Таблиця 3 – Датчики VOC/TVOC

Модель	Параметри вимірювання	Чутливість	Точність	Діапазон вимірювань
Sensirion SGP30	TVOC, eCO	±15%	висока	0 – 60 000 ppb
Bosch BME680	VOC, температура, вологість, тиск	±10%	висока	0 – 1000 ppm
AMS CCS811	TVOC, eCO	±15%	середня	400 – 8192 ppm

Датчик HCHO (формальдегіди)[4]. Тип датчика: електрохімічний або MOS. Принцип роботи - газ проникає в сенсор, де реагує на електродах, утворюючи струм; сила струму пропорційна кількості молекул формальдегіду; у MOS-датчиках принцип подібний до VOC – зміна опору.

Таблиця 4 – Датчики HCHO

Модель	Принцип роботи	Чутливість	Точність	Діапазон вимірювань
Winsen ZE08-CH2O	Електрохімічний	0,01 мг/м ³	висока	0 – 5 мг/м ³
DART Sensors	MOS	0,02 мг/м ³	середня	0 – 10 мг/м ³

Датчики NO₂, CO, O₃, SO₂ та інших газів [5]. Тип датчика – електрохімічні комірки. Принцип роботи: газ окислюється або відновлюється на поверхні електродів і створює мікрострум; сила струму прямо пропорційна концентрації газу.

Таблиця 5 – Датчики NO₂, CO, O₃, SO₂

Модель	Параметри вимірювання	Принцип роботи	Чутливість	Точність	Діапазон вимірювань
Alphasense B4 Series	NO ₂ , CO, O ₃ , SO ₂	Електро-хімічний	10 – 50 ppb	висока	0 – 20 ppm
SPEC Sensors 3SP_CO_1000	CO	Електро-хімічний	10 ppm	висока	0 – 1000 ppm

Датчики температури та вологості [6]. Тип датчиків – цифрові (ємнісні або терморезистивні). Принцип роботи: для вологості – зміна ємності плівки, яка поглинає вологу; для температури – зміна опору терморезистора.

Таблиця 6 – Розподіл аналізаторів атмосферного повітря за етапами розвитку

Покоління	Тип датчиків	Принцип роботи	Типові приклади	Характерні особливості	Галузь використання
I. 1960 – 1980	Електрохімічні датчики	Окиснення/відновлення на електродах	Alphasense B4, Figaro (перші)	Висока вибірковість, потребують калібрування	Промислові лабораторії
II. 1980 – 2000	MOS	Зміна опору при адсорбції газів	Figaro TGS2600, CCS801	Компактні, чутливі до вологості	Побутові детектори газів
III. 2000 – 2010	Оптичні датчики пилу	Розсіювання ІЧ/лазерного світла	Sharp GP2Y1010AU0 F, Honeywell HPM115S0	Цифрові інтерфейси, потреба калібрування	Екологічний моніторинг
IV. 2010 – 2018	NDIR-датчики CO ₂	Абсорбція ІЧ-випромінювання	Senseair S8, MH-Z19, Sensirion SCD30	Висока точність, I ² C/UART, автокалібрування	Побутові аналізатори CO ₂
V. 2018 – 2023	Комбіновані датчики VOC/PM/CO ₂	MOS + NDIR + лазерне розсіювання	Sensirion SGP30, Bosch BME680, AMS CCS811	Мультипараметричні, бездротові	Розумний дім, IoT
VI. 2023 –...	Мультисенсорні системи нового покоління	Поєднання MEMS, NDIR, MOS, AI	SCD41, BME688, Airly, IQAir Pro	Хмарна аналітика, самокалібрування	Smart City, хмарний моніторинг

Висновки:

Датчики дрібнодисперсного пилу широко використовуються для: моніторингу якості повітря у містах, промислових зонах та громадських мережах моніторингу (наприклад, SaveEcoSensor); системах "Розумний дім" – для автоматичного контролю вентиляції та очисників повітря; очисники повітря та кондиціонери – для вимірювання ефективності фільтрації; промислові системи – контроль викидів та робочих умов; персональний моніторинг – портативні пристрої для вимірювання індивідуального впливу забруднення.

Датчики O_2 (вуглекислого газу) – це пристрої, які вимірюють концентрацію цього газу в повітрі, зазвичай виражену в частинках на мільйон (ppm, *parts per million*). Вони критично важливі для моніторингу якості повітря у приміщеннях, оскільки висока концентрація CO_2 (понад 800-1000 ppm) може викликати сонливість, головний біль та зниження когнітивних функцій.

Найбільш поширеним і точним типом є недисперсійні інфрачервоні датчики (NDIR). Їхня робота ґрунтується на фізичній властивості молекул CO_2 поглинати інфрачервоне світло на певній довжині хвилі ($\sim 4.26 \mu m$).

Датчик $HCHO$ (формальдегіду) – це пристрій, призначений для вимірювання або виявлення концентрації формальдегіду (CH_2O або $HCHO$) в навколишньому повітрі. Формальдегід є безбарвним газом із різким запахом, який є небезпечним для здоров'я людини навіть у низьких концентраціях і класифікується як канцероген. Основними джерелами формальдегіду в приміщеннях є будівельні та оздоблювальні матеріали (особливо ті, що містять формальдегідні смоли), меблі, фарби, лаки, килими, а також тютюновий дим.

Датчики для NO_2 (діоксиду азоту), CO (чадного газу), O_3 (озону) та SO_2 (діоксиду сірки) – це ключові компоненти систем моніторингу якості повітря. Вони призначені для виявлення та вимірювання концентрацій цих небезпечних газоподібних забруднювачів. Більшість сучасних компактних

датчиків для цих газів, які використовуються в побутових та мережевих моніторингових системах, працюють на електрохімічному принципі.

Датчики температури та вологості (термогігрометричні датчики) – це електронні компоненти, які вимірюють два ключові параметри навколишнього середовища: температуру та відносну вологість (RH). Вони широко застосовуються в системах "Розумний будинок", метеостанціях, HVAC-системах (опалення, вентиляція, кондиціонування) та промислових контрольно-вимірювальних приладах.

Пристрої контролю якості атмосферного повітря постійно вдосконалюються, забезпечуючи високу точність та достовірність вимірювання, набувають ознак сучасних електронних пристроїв на базі мікроелектронної та мікропроцесорної техніки, а також стають доступними для використання на побутовому рівні.

Список використаної літератури:

1. Zhang, H., & Srinivasan, R. (2020). A Systematic Review of Air Quality Sensors, Guidelines, and Measurement Studies for Indoor Air Quality Management. *Sustainability*, 12(17), 7057. DOI: 10.3390/su12177057. Доступно: <https://www.researchgate.net/publication/346529339>.
2. Bui, D., Pham, T. T. H., & Vo, N. T. (2020). A Comprehensive Review on Indoor Air Quality Monitoring Systems for Enhanced Public Health. *Sustainable Environment Research*, 30(1). DOI: 10.1186/s42834-020-0047-y. Доступно: <https://sustainenvironres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42834-020-0047-y>.
3. Hamamatsu Photonics. (2021). NDIR Gas Sensing: Improve Your Detector Design. Application Note, Hamamatsu Photonics K. K. Доступно: <https://www.hamamatsu.com>.
4. Сера, М., Kouskouridas, R., & Georgopoulos, D. (2022). A Review of Gas Measurement Practices and Sensors for Tunnels. *Tunnelling and*

Underground Space Technology, 128, 104647. Доступно: <https://www.researchgate.net/publication/367236838>.

5. Saini, J., Dutta, M., & Marques, G. (2023). Low-Cost Air Quality Sensors: Biases, Corrections and Challenges. Atmosphere, 15(12), 1523. Доступно: <https://www.mdpi.com/2073-4433/15/12/1523>.

6. Singh, P., & Kumar, R. (2024). Advancements in Air Quality Monitoring: A Systematic Review of IoT-Based Air Quality Monitoring and AI Technologies. Artificial Intelligence Review, Springer. Доступно: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-025-11277-9>.

7. Long-Term Evaluation of Commercial Air Quality Sensors. (2024). Atmospheric Measurement Techniques, 17(5), 3809-3827. Доступно: <https://amt.copernicus.org/articles/17/3809/2024>.

Попко С. О., здобувач вищої освіти

Черепньов І. А., к.т.н., доцент

Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Пісня Л. А., к.т.н.

*Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний
інститут екологічних проблем», м. Харків*

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ТЕХНІКА ЯК ПРИЧИНА ПОЖЕЖ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

Дане дослідження ґрунтується на аналізі іноземних публікацій. Об'єкти агропромислового комплексу (АПК) мають ряд специфічних особливостей, які підвищують ймовірність виникнення пожеж, а також посилюють їх наслідки, наприклад розміщуються у віддалених місцях, де не ведеться постійний моніторинг. Крім цього, як правило на їх території розміщуються велика кількість тварин, сільськогосподарських культур та обладнання [1].

Фахівці з цивільного захисту в Канаді провели дослідження кількості середньорічних пожеж на різних об'єктах АПК, які сталися на території провінції Саскачеван за період 1997-2001 рр. [1]. На підставі цих даних, нами побудована діаграма, яка представлена на рис.1.

Як видно з рис.1, найбільша кількість пожеж виникла саме на сільськогосподарській техніці. Особливу небезпеку становить колісна техніка, яка за даними [2] є причиною до 50 % нещасних випадків зі смертельними наслідками у всьому світі. У цій же роботі наводяться дані про те, що найчастіше (в 74 % випадків), загоряння тракторів виникає в зоні двигуна. Підвищені вимоги до зниження шуму і викидів вихлопних газів є основними причинами підвищення ізоляції і огорожі моторного відсіку, підвищення тиску палива і, отже, підвищення температури моторного відсіку. Пожежа в моторному відсіку часто, дуже швидко і інтенсивне поширюється, тому її неможливо загасити за допомогою вогнегасника.



Рисунок 1 – Середньорічна кількість пожеж на різних об'єктах АПК, де:

- А – сільськогосподарська техніка; В – сільськогосподарські культури;
- С – корівники та інші приміщення для утримання тварин; D – сховища сільськогосподарської продукції; Е – житлові приміщення на фермі;
- G – приміщення для забою худоби; Н – інші сільськогосподарські будівлі.

Для тракторів, вантажних автомобілів основною причиною загоряння є коротке замикання або несправності в електроустановці. У разі машин, призначених для збирання врожаю, таких як Зернозбиральний комбайн або кормозбиральна машина, пошкоджений підшипник або електроустановка в значній мірі сприяють виникненню пожежі. За даними отриманими в Іспанії [3] причиною виникнення майже 50 % пожеж в Арагоні в період з 2014 по 2023 рр. були викликані недбалістю і нещасними випадками, з яких 20,7 % були пов'язані з машинами і двигунами. Це вказує на те, що 9,7 % усіх пожеж сталися через машини та двигуни. За даними отриманими в Іспанії [3] причиною виникнення майже 50 % пожеж в Арагоні в період з 2014 по 2023 рр. були викликані недбалістю і нещасними випадками, з яких 20,7 % були пов'язані з машинами і двигунами. Це вказує на те, що 9,7 % усіх пожеж сталися через машини та двигуни. У цій же роботі визначені фактори, які провокують виникнення загорянь, а саме: тепло, що виділяється під час роботи, тертя, несправності електрообладнання, гідравлічних приводів і скупчення рослинних залишків. Значний вплив мають: відносна вологість, температура навколишнього середовища, швидкість вітру, а також тип і стан сільськогосподарських культур. Погіршує ситуацію неправильне технічне обслуговування, відсутність засобів захисту і застаріле обладнання. Враховуючи те, що в АПК України досить часто використовують техніку іноземного виробництва, питання підвищення її пожежної безпеки вельми актуальні

Література:

1. Torvi D. Fire Protection in Agricultural Facilities: A Review of Research, Resources and Practices. *Journal of Fire Protection Engineering*. 2003. Vol. 13, № 3. P. 185 – 215. doi.org/10.1177/1042391503033368.
2. Tomaškov M., Matiskov D., Balčžikov M. Case Study to Determine the Causes of Fire in Agriculture. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 2020. Vol. 5, № 5. P. 11-15. doi: 10.25046/aj050502.

3. Videgain-Marco M., Ayudón-Ibarz C, Vidal-Cortés M. Assessing Fire Risks in Agricultural Balers: A Comprehensive Study. *Agriculture*. 2025. Vol.15, №8. 908. doi.org/10.3390/agriculture15080908.

Сальник О. В., старший науковий співробітник Науково-дослідної лабораторії, Харківський національний університет Повітряних Сил

Табуненко В. О., професор, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет Повітряних Сил

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ

При веденні сучасних бойових дій, з урахуванням наявності у противника високоточних засобів ураження, забезпечення боєздатності озброєння і військової техніки на необхідному рівні залежить від ефективності застосування технічних систем військових об'єктів. Системи озброєння відносяться до технічних систем.

Під ефективністю розуміємо найбільш загальну, визначальну властивість будь-якої цілеспрямованої діяльності, що розкривається через категорію мети й об'єктивно виражається ступенем її досягнення з урахуванням витрат ресурсів і часу. Поняття ефективності застосування є фундаментальним поняттям теорії ефективності і разом з поняттям мети, операції і системи утворює вихідну базу для формування системи основних понять цієї теорії.

Під метою розуміємо бажаний результат діяльності, досяжний у межах деякого інтервалу часу і який має визначену корисність. Поняття мети найчастіше формулюється у виді необхідності досягнення кращого стану деякої системи. Наприклад, у воєнних діях мета формулюється як здійснення

розгрому супротивника, прорив його оборони, розвиток успіху наступальної операції, утримання оборонних рубежів. Мета вважається досягнутою, якщо отриманий визначений, відповідний поставленій меті результат. Мета стрілянини зенітною керованою ракетою “літак уражений” вважається досягнутою, якщо літак знищений чи йому нанесений такий збиток, при якому він не в змозі виконати бойову задачу [1] .

Необхідний результат може бути отриманий лише шляхом перетворення деяких ресурсів, тобто за рахунок сукупності визначених дій, у процесі виконання яких ресурси перетворюються в необхідний результат, що відповідає поставленій меті. Таку сукупність дій називають операцією. Зі змістовної точки зору ці дії можуть бути самої різної природи, головне – вони повинні бути цілеспрямованими. Прикладом операцій у військовій справі – стрілянина по цілі, відбиття нальоту засобами проти повітряної оборони, бойові дії військ воюючих угруповань.

Таким чином, операція – це упорядкована сукупність взаємозалежних дій, об'єднаних загальним задумом і спрямованих на досягнення цілком визначеної мети. Саме цю мету називають метою операції й у формалізованому виді виражають необхідним результатом. Будь-яка операція являє собою обмін, у результаті якого сторона, що проводить операцію, за придбану для себе користь, тобто за отриманий корисний ефект, розплачується деякою кількістю витрачених ресурсів і витратами часу на проведення операції. Сторона, що проводить операцію, якщо вона діє свідомо і раціонально, повинна організувати і провести операцію так, щоб зазначений обмін був для неї гранично вигідним. З цього погляду ефективність операції – це не просто здатність давати цільовий результат, а саме дієвість такої здатності, тобто результативність співвіднесена з витратами усіх видів ресурсів і часу [2].

Основною дослідницькою концепцією аналізу ефективності проведення операцій є моделювання, оскільки експериментальний підхід до дослідження

великомасштабних операцій і складних технічних систем обмежений, а експеримент з окремими елементами системи не дозволяє одержати представлення про її властивості. Експеримент із самою системою замінюється експериментом з її моделлю. При сучасному розвитку обчислювальної техніки імітаційне моделювання є основною формою дослідження ефективності великомасштабних операцій у різних областях техніки.

При ухваленні рішення про ефективність проведення операції чи виборі раціонального способу керування нею, необхідно установити принципи поведінки системи. До таких принципів для технічних систем відносять [1]:

1. Принцип матеріально-енергетичного балансу. Поведінка системи в будь-яких умовах не повинне приводити до порушення законів збереження речовин і енергії.

2. Принцип стійкості. Система повинна повертатися в стан стійкої рівноваги, якщо вона виведена з нього зовнішнім впливом.

3. Принцип вибору рішень. Складна система організує своє поведіння на основі раціонального вибору і прийняття рішень у залежності від сформованих умов.

4. Принцип перспективної активності. Система організує своє поведіння, ґрунтуючись на попередньому досвіді в припущенні, що майбутні ситуації не можуть істотно відрізнятися від минулих.

5. Принцип рефлексії. Система організує своє поведіння з обліком можливого уявного представлення про її дії суб'єкта іншої системи, з яким перша знаходиться у визначених відносинах.

Установивши ведучий принцип, покладений в основу поведінки системи, необхідно виявити концепцію вироблення рішень, що лежить в основі організації раціонального поведінки системи, тобто в основі керування системою.

Існує 3 концепції раціонального поведінки [2]:

- придатності; - оптимізації; - адаптивізації.

Відповідно до концепції придатності, придатною є будь-яка раціональна альтернатива керування, для якої показник ефективності приймає значення не нижче необхідного рівня.

Концепція оптимізації відносить до раціональних лише ті керування із заданого обмеження їхньої безлічі, що забезпечують найбільшу результативність.

Концепція адаптивізації полягає у прогнозуванні можливих умов і способів проведення операцій на основі не тільки апіорної (статичної) і поточної (динамічної), але і прогнозованої (віртуальної) інформації. Суть концепції адаптивізації складається не просто у виборі «кращого», як це має місце в концепції оптимізації, а саме в русі до «кращого».

Істотною особливістю при дослідженні ефективності функціонування технічних систем є їхня складність і висока розмірність розв'язуваних задач, що не допускає повного формалізованого опису в рамках однієї математичної моделі. У цих умовах приходиться прибгати до поетапної процедури дослідження. Тому сутність системного підходу полягає в проведенні дослідження з послідовно убуваючих рівнів узагальнення інформації про основні фактори, що впливають на ефективність операції. Виділяють 3 основних рівні дослідження ефективності [2]:

- концептуальний; - операціональний; - детальний.

Термін “дослідження” використовується для позначення діяльності людей по обгрунтуванню проектних, конструкторських і управлінських рішень зв'язаних з ефективністю. Маються на увазі прикладні дослідження в області ефективності техніки. Зовнішніми стосовно прикладного є фундаментальні дослідження. Їхнім змістом є - класифікація об'єктів, задач і методів прикладних досліджень, визначення напрямків їхнього подальшого розвитку.

Концептуальні дослідження розглядають як особливий рівень, на якому

розробляються цілі і задачі, принципи застосування технічної системи й інші основні питання.

Метою операціональних досліджень є визначення функціональної структури операції (технічні засоби досягнення цілей і їхніх зв'язків). Результатом операціонального дослідження є переліки задач конкретним підсистемам, показники і критерії їхнього виконання, самі підсистеми і засоби зв'язку між ними.

Детальні дослідження – останній рівень декомпозиції загальної задачі дослідження ефективності – забезпечують рішення всіх питань, що стосуються вигляду конкретних засобів.

Наприкінці доповіді було зроблено висновки: Дослідженням ефективності застосування технічних систем військових об'єктів повинні передувати системні дослідження з залученням методів експертних оцінок і прогнозування. Різні напрямки системних досліджень мають визначений взаємозв'язок і можуть перетинатися як у частині розв'язуваних задач і об'єктів дослідження, так і в охопленні аспектів, що враховуються.

Список використаної літератури:

1. Ковтун А. В. Ефективність і живучість систем озброєння та військової техніки / А. В. Ковтун // Навчальний посібник – Х.: АВВ. – 2010. – 110 с.
2. Харченко В. С. Теорія надійності та живучості елементів і систем літальних комплексів / В. С. Харченко. – Х.: ХВУ. – 1997. – 403 с.

Толмачов Д. М., студент гр. А-51-25

Кравцов М. М., к.т.н., доцент, науковий керівник

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЕКОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ: ШЛЯХ ДО ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ

Автомобільний транспорт є одним із найважливіших елементів сучасної цивілізації, однак водночас він є і одним із основних джерел забруднення довкілля. На частку транспорту припадає до 25 % усіх викидів вуглекислого газу у світі, а також значна кількість оксидів азоту, сірки, чадного газу та твердих частинок. Тому розвиток екологічно безпечних технологій у сфері автомобілебудування та експлуатації транспортних засобів є ключовим напрямом сучасної науки та техніки, спрямованим на захист як природи, так і людини.

За даними Європейського агентства з навколишнього середовища (ЕЕА), автомобілі щороку викидають понад 700 мільйонів тонн СО₂, що сприяє глобальному потеплінню. В Україні на транспорт припадає близько 30 % усіх викидів шкідливих речовин у повітря, при цьому середній вік автопарку перевищує 20 років, а це означає використання застарілих двигунів із низьким рівнем екологічності.

Наслідком є погіршення якості повітря, особливо у великих містах, де рівень вмісту оксидів азоту та дрібнодисперсного пилу у повітрі часто перевищує норми ВООЗ у 2-3 рази. У зв'язку з цим розвиток та впровадження сучасних автомобільних технологій, що зменшують негативний вплив транспорту на довкілля і підвищують безпеку людей, має важливе екологічне та соціальне значення.

Екологічні інновації в автомобільному транспорті охоплюють широкий спектр технологій та рішень, спрямованих на мінімізацію викидів

парникових газів (CO_2) та токсичних забруднюючих речовин (NO_x , CO, сажа). Головний шлях зменшення шкідливих викидів – це поступовий перехід від двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) до електричних силових установок та постійне вдосконалення технологій очищення відпрацьованих газів для існуючого парку[1].

Одним із найперспективніших напрямів є розвиток екологічно чистих силових установок. Сьогодні дедалі ширше впроваджуються електромобілі та гібридні транспортні засоби, які дозволяють суттєво скоротити або повністю усунути викиди шкідливих газів у процесі руху. Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), у 2024 році у світі було продано понад 14 мільйонів електромобілів, що становить близько 18 % усіх нових продажів легкових авто. Електромобілі використовують літій-іонні акумулятори з можливістю переробки, а також системи рекуперації енергії під час гальмування.

Сучасні ДВЗ також зазнали значних удосконалень. Використання систем безпосереднього упорскування пального, турбонаддуву та каталітичних нейтралізаторів дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин на 40-60 % порівняно з моделями попередніх поколінь. У дизельних двигунах активно застосовується технологія SCR (Selective Catalytic Reduction), що забезпечує нейтралізацію оксидів азоту за допомогою сечовини (AdBlue) [2].

Велике значення має і впровадження альтернативних видів палива – біоетанолу, біодизеля, водню, синтетичного метану. Використання біодизеля з ріпакової олії дає змогу зменшити викиди CO на до 80 % у порівнянні зі звичайним дизельним паливом.

У сфері автомобільного обладнання важливу роль відіграють системи контролю та моніторингу викидів. Сучасні автомобілі оснащуються датчиками кисню, системами OBD-II, які в режимі реального часу відстежують роботу двигуна та запобігають перевищенню норм токсичності. Для міського транспорту впроваджуються автоматизовані системи

екологічного контролю, що дозволяють визначати рівень шкідливих речовин у вихлопах прямо на маршрутах.

Електрифікація транспорту – це ключовий напрямок екологічних інновацій, що забезпечує нульові локальні викиди (відсутність вихлопних газів під час руху). Електромобілі (BEV): працюють виключно від акумуляторних батарей, не мають вихлопної системи. Екологічний вплив – значно скорочують викиди CO₂ протягом усього життєвого циклу, особливо якщо електроенергія для їх зарядки виробляється з відновлюваних джерел (сонце, вітер). Хоча виробництво батарей є енергоємним, електромобіль, як правило, компенсує цей "вуглецевий борг" уже після пробігу близько 17000-30000 км. Інновації – розробка твердотільних батарей для збільшення енергетичної щільності, запасу ходу та безпеки. Гібридні автомобілі (HEV та PHEV) PHEV (плагін-гібриди): поєднують ДВЗ та велику батарею, яку можна заряджати від мережі. Вони можуть проїжджати значні відстані лише на електротязі, значно знижуючи споживання палива та викиди [3].

Для мільйонів автомобілів, що ще перебувають в експлуатації, інновації зосереджені на підвищенні ефективності згоряння та очищенні вихлопу. Системи очищення відпрацьованих газів – каталітичні нейтралізатори: Використовують каталізatori (платина, родій, паладій) для перетворення токсичних газів (CO, NO_x, незгорілі вуглеводні) на менш шкідливі (CO₂, N₂, H₂O). Сучасні трикомпонентні каталізatori є обов'язковими для відповідності стандартам Євро-6. Сажові фільтри (DPF/GPF): встановлюються на дизельних (DPF) та бензинових (GPF) автомобілях з прямим впорскуванням для вловлювання та періодичного спалювання (регенерації) твердих мікрочастинок (сажі). Системи SCR (Selective Catalytic Reduction): для дизельних двигунів. Впорскування рідини на основі сечовини (AdBlue) у вихлопні гази для перетворення токсичних оксидів азоту (NO_x) на нешкідливий азот (N₂) та водяну пару [4].

Технології палива та згоряння: біопаливо: використання біодизеля та біоетанолу, що виробляються з відновлюваної біомаси, забезпечує нейтральний вуглецевий слід (викиди CO₂ при спалюванні компенсуються CO₂, поглиненим рослинами під час їх росту). Вдосконалення впорскування: пряме впорскування та електронне керування процесом згоряння для оптимізації суміші палива та повітря та зниження викидів.

Легкі та аеродинамічні конструкції: зменшення ваги та покращення аеродинаміки безпосередньо призводять до зниження потреби в енергії, а отже, і до менших викидів. Полегшені матеріали: використання алюмінію, високоміцної сталі та вуглецевого волокна для зменшення загальної маси автомобіля. Аеродинамічний дизайн: мінімізація опору повітря для економії палива або електроенергії (особливо актуально для електромобілів, де кожен відсоток енергоефективності важливий). Ці інновації разом створюють комплексний шлях до більш сталого та екологічно чистого автомобільного транспорту [5].

Висновки:

Технологічний прогрес у сфері екологічних датчиків та транспортних засобів є вирішальним для формування більш чистого та здорового міського середовища. Перехід на електричний транспорт, удосконалення двигунів внутрішнього згоряння, розвиток альтернативних видів палива сприяють зменшенню викидів шкідливих речовин, підвищенню ефективності використання енергії та зниженню ризиків для здоров'я. Подальший розвиток автомобільної галузі має бути спрямований на поєднання інновацій, екологічності та безпеки.

Список використаної літератури:

1. Рекомендації щодо оформлення списків літератури згідно ДСТУ 8302:2015 / Офіційний сайт Вісник НТУ «ХП». URL: <http://vestnik.kpi.kharkov.ua/wp-content/uploads/2018/08/References.pdf> (дата звернення: 20.0.2020).

2. Європейське агентство з навколишнього середовища (EEA). Air Quality in Europe Report, 2024.
3. International Energy Agency (IEA). Global EV Outlook 2024.
4. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічний звіт, 2024.
5. Society of Automotive Engineers (SAE). Clean Mobility Technologies, 2023.

Яровий О. В., здобувач магістратури

Кравцов М. М., доцент, к.т.н., наук. керівник

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЗАСТОСУВАННЯ ДРОНІВ І РОБОТОТЕХНІКИ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

Промислові аварії є одними з найнебезпечніших техногенних подій, які завдають значної шкоди не лише економіці, а й навколишньому середовищу, здоров'ю та життю людей. Вибухи, пожежі, витoki небезпечних хімічних або радіоактивних речовин супроводжуються високими ризиками для учасників ліквідації наслідків таких подій. Традиційні методи рятувальних операцій передбачають безпосередню участь людей у небезпечних зонах, що часто призводить до травмування або загибелі рятувальників. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває використання інноваційних технологій, зокрема безпілотних літальних апаратів і робото-технічних систем, які здатні виконувати небезпечні завдання без залучення людини до зони ризику.

У сучасних умовах цифрової трансформації промисловості дрони та роботи стають невід'ємною складовою системи цивільного захисту. Вони забезпечують можливість швидкого отримання даних про стан аварійного об'єкта, визначення масштабів руйнувань, фіксацію динаміки розвитку подій

і здійснення оперативної оцінки ситуації [1]. Метою статті є узагальнення науково-практичного досвіду використання дронів і робототехніки під час ліквідації аварій на промислових об'єктах, визначення їхніх переваг, обмежень та перспектив розвитку в Україні.

Застосування робото-технічних систем у сфері цивільного захисту бере свій початок із військових і космічних досліджень, проте за останні два десятиліття воно набуло широкого поширення в цивільному секторі. Як зазначає Мерфі (Murphy, 2014), дрони та автономні платформи стали ключовим інструментом реагування на надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру. Їхні технічні можливості дозволяють здійснювати моніторинг із повітря, проводити відео- та фотозйомку, збирати екологічні показники, аналізувати параметри забруднення повітря та води, а також здійснювати пошук людей у важкодоступних місцях [2].

Результати досліджень, проведених Європейською асоціацією робототехніки у 2022 році, доводять, що безпілотні літальні апарати забезпечують зниження часу реагування аварійно-рятувальних служб майже на 50 %. Досвід університету Мюнхена підтверджує, що використання дронів із тепловізійними камерами та газоаналізаторами під час ліквідації аварії на хімічному підприємстві дозволило значно прискорити процес оцінки обстановки, скоротивши час від 45 до 7 хвилин, а також уникнути безпосереднього контакту людей із небезпечними речовинами (Keller et al., 2021).

Подібні результати отримано й у практиці Державної служби України з надзвичайних ситуацій. У 2023 році дрони з тепловізійними системами використовувалися під час гасіння пожежі на нафтобазі у Хмельницькій області [5]. Безпілотники дозволили здійснювати моніторинг температурного режиму, визначати місця найбільшого загоряння та координувати дії пожежних розрахунків без ризику для їхнього життя. Таким чином,

технології дистанційного спостереження стали важливою складовою управління аварійними процесами.

Наземна робототехніка також відіграє важливу роль у ліквідації наслідків аварій. Під час катастрофи на японській атомній електростанції «Фукусіма-1» у 2011 році саме роботи типу PackBot і Quince здійснювали радіаційну розвідку, відкривали заблоковані двері та збирали проби повітря. Цей досвід продемонстрував, що роботизовані системи здатні ефективно працювати у середовищі, непридатному для перебування людини. Подальші розробки, такі як німецький FireBot, створений у 2022 році в інституті Fraunhofer, дозволяють працювати в умовах високої температури, що значно розширює сферу їх застосування на промислових підприємствах із підвищеним ризиком вибуху або займання.

Українські наукові установи також долучаються до розвитку подібних технологій. У Національному технічному університеті України «КПІ імені Ігоря Сікорського» розробляються мобільні платформи для дистанційної розвідки вибухонебезпечних територій, а у Львівській політехніці проводяться дослідження з автоматизації пошуку джерел витоку шкідливих речовин за допомогою сенсорних роботів [3]. Це свідчить про формування національного потенціалу в галузі безпілотних технологій і робототехніки для цивільного захисту.

Аналітичні спостереження показують, що впровадження безпілотних технологій значно підвищує загальну ефективність аварійно-рятувальних робіт. За даними аналізу 50 промислових аварій, проведеного у 2015-2023 роках у країнах Європейського Союзу, у більшості випадків використання дронів скорочувало час реагування рятувальників на 30-60 %, а застосування наземних роботів дозволяло уникнути людських втрат під час обстеження вибухонебезпечних ділянок. Такі показники свідчать про значну практичну користь від використання автономних систем у надзвичайних ситуаціях.

Водночас в Україні цей напрямок розвитку технологій стикається з певними труднощами. Серед основних проблем виділяються недостатнє фінансування інноваційних проєктів, обмежена нормативно-правова база, що регулює застосування дронів у зонах надзвичайних ситуацій, а також брак спеціально підготовлених операторів і технічної інфраструктури [4]. Попри це, держава поступово інтегрується у європейські програми, такі як «Horizon Europe» та ініціатива «Smart Resilience and Safety Technologies», що відкриває можливості для обміну досвідом і залучення інвестицій у сферу роботизованих рятувальних технологій.

Отже, застосування дронів і робототехніки під час ліквідації наслідків аварій на промислових об'єктах є важливим напрямом розвитку сучасної системи цивільного захисту. Використання цих технологій дозволяє значно скоротити час реагування, забезпечити точність оцінки аварійної ситуації, знизити ризик для життя людей та підвищити ефективність прийняття рішень. Роботизовані системи поступово стають основним інструментом моніторингу, управління та прогнозування наслідків техногенних катастроф. Подальший розвиток цього напрямку в Україні потребує активної державної підтримки, створення сприятливих правових умов, удосконалення підготовки фахівців і розширення міжнародного співробітництва. Саме інтеграція наукових розробок, технологічних інновацій і державної політики безпеки забезпечить перехід до нової моделі реагування на промислові аварії, у якій провідну роль відіграватимуть автономні системи та штучний інтелект [5].

Список використаних джерел:

1. Застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту: монографія . Київ. 2022. 312 с.
2. Кубрак Ю. Формування комплексної системи стеження сучасних БПЛА на базі штучного інтелекту. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Випуск 2 / 2022(133). С. 41-47. DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.2>.

3. Македон В. В. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. Науковий вісник Херсонського державного університету. *Серія «Економічні науки»*. 2023. Випуск 47. С. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-36.
4. Македон В. В., Чабаненко А. В. Факторні складові цифровізації глобальної економіки та макроекономічних систем країн світу. *Ефективна економіка*. 2022. No1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9875>. DOI: 10.32702/2307-2105-2022.1.11.
5. Толкунова Ю. Розробка системи подолання перешкод для безпілотного літального апарату. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2022. No2(68). С. 32-36. URL: <https://doi.org/https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.032>

**Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції
здобувачів вищої освіти і молодих учених**

**«Метрологічні аспекти прийняття рішень
в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах»**

Відповідальність за достовірність наведених в матеріалах даних
несуть автори публікацій.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

**4 листопада 2025 р.
м. Харків, Україна**