

МІЖНАРОДНА  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
«Інформаційно-вимірювальні  
технології ІВТ-2022»

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

Ministry of Education and Science of Ukraine;  
Metrology Academy of Ukraine;  
Institute of General Energy of the National Sciences Academy of Ukraine, Kyiv;  
National Scientific Center «Institute of Metrology», Kharkiv, Ukraine;  
State enterprise «Research Institute of Metrology  
of Measuring and Control Systems», Lviv, Ukraine;  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine;  
State enterprise «Lvivstandartmetrologiya», Lviv, Ukraine;  
«Softserv» company, Lviv, Ukraine;  
Ilmenau Technical University, Ilmenau, Germany;  
Varna Technical University, Varna, Bulgaria;  
Rzeszow Polytechnic named after Ignatsia Lukasiewicz, Rzeszow, Poland

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC  
AND PRACTICAL CONFERENCE  
«Information and measurement  
technologies IMT-2022»**

**PROCEEDINGS**

**November 9–10, 2022**

Lviv  
Lviv Polytechnic Publishing House  
2022

Міністерство освіти і науки України;  
Академія метрології України;  
Інститут загальної енергетики НАН України, Київ;  
Національний науковий центр «Інститут метрології», Харків, Україна;  
Державне підприємство «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем», м. Львів, Україна;  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, м. Івано-Франківськ, Україна;  
Державне підприємство «Львівстандартметрологія», м. Львів, Україна;  
Компанія «Софтсерв» («SoftServe»), м. Львів, Україна;  
Технічний університет Ільменау, м. Ільменау, Німеччина;  
Технічний університет Варна, м. Варна, Болгарія;  
Жешівська Політехніка ім. Ігнація Лукасевича, м. Жешів, Польща

# МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ІВТ-2022»

## ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

9–10 листопада 2022 р.

Львів  
Видавництво Львівської політехніки  
2022

### **ОРГАНІЗАТОРИ:**

Міністерство освіти і науки України;  
Національний університет „Львівська політехніка”;  
Академія метрології України;  
Інститут загальної енергетики НАН України, Київ;  
Національний науковий центр «Інститут метрології», Харків, Україна;  
Державне підприємство «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і  
управляючих систем», м. Львів, Україна;  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна, м. Івано-  
Франківськ, Україна;  
Державне підприємство «Львівстандартметрологія», м. Львів, Україна;  
Компанія «Софтсерв» («SoftServe»), м. Львів, Україна;  
Технічний університет Ільменау, м. Ільменау, Німеччина;  
Технічний університет Варна, м. Варна, Болгарія;  
Жешувська Політехніка ім. Ігнація Лукасевича, м. Жешів, Польща

### **КООРДИНАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ:**

Національний університет “Львівська політехніка”:  
Інститут комп’ютерних технологій, автоматики та метрології  
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

**Міжнародна** науково-практична конференція «Інформаційно-вимірювальні  
М 88 технології ІВТ-2022»: тези доповідей, 9–10 листопада 2022 р. – Львів, 2022. – Режим  
доступу: <https://science.lpnu.ua/ivt-2022/proceedings-2022> вільний. – Заголовок з  
екрана. – Мова укр. й англ.

ISBN 978-966-941-770-1

Збірник містить тези доповідей учасників Міжнародної конференції, яка відбулася  
9–10 листопада 2022 р.

**УДК 371:351.851; 621.002.56; 681.2.08; 006.91**

*Матеріали подано в авторській редакції*

Відповідальний за випуск **М. М. Микийчук**

# НАУКОВИЙ КОМІТЕТ

## ГОЛОВА НАУКОВОГО КОМІТЕТУ:

Микийчук Микола (Україна)

## ЧЛЕНИ НАУКОВОГО КОМІТЕТУ:

1. Стадник Богдан Іванович (Україна)
2. Бабак Віталій (Україна)
3. Байцар Роман (Україна)
4. Бубела Тетяна (Україна)
5. Большаков Володимир (Україна)
6. Василевський Олександр (Україна)
7. Величко Олег (Україна)
8. Володарський Євген (Україна)
9. Ганус Роберт (Польща)
10. Гордієнко Тетяна (Україна)
11. Гоц Наталія (Україна)
12. Демків Любомир (Україна)
13. Дорожовець Михайло (Україна)
14. Івахів Орест (Україна)
15. Ковальчик Адам (Польща)
16. Косач Наталія (Україна)
17. Крачунов Христо (Болгарія)
18. Кузьменко Юрій (Україна)
19. Кошева Лариса (Україна)
20. Кучерук Володимир (Україна)
21. Микитин Ігор (Україна)
22. Неєжмаков Павло (Україна)
23. Паракуда Василь (Україна)
24. Петришин Ігор (Україна)
25. Походило Євген (Україна)
26. Середюк Орест (Україна)
27. Скоропад Пилип (Україна)
28. Слюз Андрій (Україна)
29. Тріщ Роман (Україна)
30. Фрьоліх Томас (Німеччина)
31. Шабатура Юрій (Україна)
32. Шляхта Анна (Польща)
33. Яняк Маріуш (Польща)
34. Яцишин Святослав (Україна)

# **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

## **ГОЛОВА ОРГКОМІТЕТУ:**

Яцук Василь (Україна)

## **ЧЛЕНИ ОРГКОМІТЕТУ:**

1. Бойко Тарас
2. Здеб Володимир
3. Добролюбова Марина
4. Кочан Орест
5. Куць Віктор
6. Малик Ольга
7. Міхалева Марина
8. Плахтій Оксана
9. Прохоренко Сергій
10. Хома Юрій

# ЗМІСТ

## ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

|   |    |
|---|----|
| <i>Бабак В.</i> МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОНІТОРИНГУ І ДІАГНОСТИКИ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ.....   | 11 |
| <i>Бубела Т.</i> МЕТРОЛОГІЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ:<br>СВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД .....  | 13 |
| <i>Дувіряк Д., Костеров О., Кізілівський І, Паракуда В., Шпак О.</i> СУЧАСНИЙ СТАН<br>І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕТАЛОННОЇ БАЗИ АКУСТИЧНИХ ВЕЛИЧИН .....  | 15 |
| <i>Микийчук М., Яцишин С.</i> ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ<br>ТЕХНОЛОГІЙ.....  | 17 |
| <i>Неєжмаков П.</i> ЩОДО МАЙБУТНЬОГО ПЕРЕВИЗНАЧЕННЯ ОДИНИЦІ ЧАСУ – СЕКУНДИ .....  | 18 |
| <i>Прохоренко С., Прохоренко М., Мороз М., Фітькало Ю., Шевель Д.</i><br>ОПРАЦЮВАННЯ МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІR-ОЦІНКИ<br>ВІДХОДУ ВІД СТАБІЛЬНОСТІ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ<br>ЗОВНІШНЬОГО КОРПУСУ ..... | 20 |
| <i>Borovets T., Lozynskiy A., Demkiv L.</i> REAL-TIME ESTIMATION AND CONTROL<br>FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS AND VEHICLES.....  | 21 |
| <i>Eberhard Manske.</i> ALTERNATIVE TIP- AND LASER- BASED NANOFABRICATION<br>IN LARGE AREAS ON FLAT AND NON-FLAT SURFACES WITH<br>SUBNANOMETRE PRECISION .....  | 23 |
| <i>Kissinger Thomas.</i> MULTIPLEXED, RANGE-RESOLVED INTERFEROMETERS<br>BASED ON LASER DIODES .....   | 24 |
| <i>Tomaszewski Jakub, Mariusz Janiak.</i> DESIGN AND CONTROL OF AGILE ROBOTIC LEG.....  | 25 |
| <i>Шабатура Ю.</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ<br>У КОМПЛЕКСНОМУ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ ДІАГНОСТИКИ<br>І ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗРАЗКІВ ОБТ .....   | 27 |
| <i>Yatsyshyn S.</i> QUANTUM STANDARD OF TEMPERATURE. PROSPECTS AND PROBLEMS.....  | 29 |
| <i>Яцук В., Яцук Ю.</i> МОЖЛИВОСТІ КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ<br>КІБЕР-ФІЗИЧНИХ СИСТЕМ .....  | 30 |

## СЕКЦІЙНІ ЗАСІДАННЯ

|  |    |
|--|----|
| <i>Берестов Р., Гоц Н.</i> ПРОГРАМА КОМПЛЕКСНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ЗАКРИТИХ<br>РАДІОНУКЛІДНИХ ДЖЕРЕЛ НА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ .....   | 31 |
| <i>Білик С., Бубела Т., Рудик Ю.</i> ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ<br>ІНФРАСТРУКТУРИ .....   | 32 |
| <i>Богачев І.</i> МАЛОАПЕРТУРНИ МАГНІТОСТРИКЦІЙНІ ВИПРОМІНЮВАЧІ<br>ПІДВИЩЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....  | 35 |
| <i>Богачев І., Куц Ю., Хайдуров В.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ<br>УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ З МАЛОАПЕРТУРНИМИ<br>МАГНІТОСТРИКЦІЙНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ ..... | 36 |
| <i>Бойко Т., Руда М.</i> СИСТЕМА ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОСТЕМНИХ<br>ПОСЛУГ З РЕКРЕАЦІЇ І ТУРИЗМУ В ПРОСТРОВО-ЧАСОВІЙ ГЕОСИСТЕМІ .....                             | 38 |
| <i>Бойко О., Фечан А., Чабан О., Ільканич К.</i> ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ДІАГНОСТИЦІ<br>ПАТОЛОГІЙ ЩИТОВИДНОЇ ЗАЛОЗИ .....   | 40 |
| <i>Бубела Т., Богуш Б.</i> ІДЕНТИФІКАЦІЯ СВІЖОСТІ М'ЯСА ЗА ДОПОМОГОЮ<br>СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ.....  | 42 |
| <i>Василевська В.</i> КОНСТРУЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ<br>ЕЛЕКТРО- ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ<br>ЛОГІКИ .....                        | 43 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Вовчак Л., Кривенчук Ю.</i> ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ<br>ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕНДЕНЦІЙ СВІТОВОГО АВТОМОБІЛЬНОГО<br>РИНКУ .....  | 44 |
| <i>Гонсьор О.</i> ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОСТІ ВОДИ В ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ<br>БЕЗКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ.....   | 46 |
| <i>Горішна Н., Кривенчук Ю.</i> АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАРПЛАТ<br>ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ.....  | 48 |
| <i>Гут Т., Микийчук М., Кравченко І.</i> ІДЕНТИФІКАЦІЯ РИЗИКІВ ПРОЦЕСІВ<br>СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ КАЛІБРУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ .....  | 50 |
| <i>Dorozhovets M., Szlachta A.</i> EVALUATION PROCEDURE AND UNCERTAINTY<br>BUDGET FOR PH MEASUREMENT OF DRINKING WATER.....  | 52 |
| <i>Денисюк В.</i> ДИНАМІЧНІ ПОХИБКИ В СИСТЕМАХ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ<br>ТА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....   | 53 |
| <i>Dzhala R., Dzhala V., Melnyk M., Verbenets B., Shevchuk T.</i> INFORMATION<br>AND MEASUREMENT TECHNOLOGY OF UNDERGROUND PIPELINES<br>DIAGNOSTIC TESTING .....   | 56 |
| <i>Захаров І., Боцюра О., Несажмаков П.</i> ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ<br>БАГАТОКРАТНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ.....   | 58 |
| <i>Жонса М., Середюк О.</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ<br>РЕЖИМУ РОБОТИ БІОРЕАКТОРА.....   | 59 |
| <i>Жуков Л., Петренко Д.</i> ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПЕРЕРВНОГО<br>СВІТЛОВОДНОГО ТА БЕЗКОНТАКТНОГО ТЕРМОКОНТРОЛЮ .....   | 60 |
| <i>Жуков Л., Сіренко К., Петренко Д.</i> ТЕПЛОФІЗИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ХІМІЧНОГО<br>СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ.....  | 62 |
| <i>Журавська А., Байцар Р.</i> ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ<br>У СФЕРІ ЗАХИСТУ ПРАВ СПОЖИВАЧІВ.....   | 64 |
| <i>Іванишин А., Романчукевич О.</i> ЄВРОПЕЙСЬКІ ПІДХОДИ ДО ВИМІРЮВАНЬ,<br>ПОВІРКИ ТА КАЛІБРУВАННЯ .....  | 66 |
| <i>Льчук М., Стадник А.</i> ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ<br>ДЛЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ФРУКТІВ НА ПРИКЛАДІ ГРУШ .....  | 67 |
| <i>Kaidyk O., Terletsnyi T.</i> ON THE ANALYSIS OF METHODS OF VERIFICATION<br>OF MEASURING TRANSDUCERS: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES.....  | 68 |
| <i>Карпа М., Кочан О.</i> LABVIEW БАЗОВАНА СИСТЕМА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ<br>КІЛ ІЗ ЗАЛЕЖНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ МЕТОДОМ КОНТУРНИХ СТРУМІВ .....  | 70 |
| <i>Кеpeciук Т., Кеpeciук Д.</i> МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ЕТАЛОННОЇ ТРУБОПОРШНЕВОЇ<br>УСТАНОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ МІРНИКА.....  | 72 |
| <i>Кисилевська А., Арабаджи М., Тиганій Ю., Слуценко Д.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ<br>ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ<br>МІНЕРАЛЬНИХ ВОД ЩОДО ЇХ ВІДПОВІДНОСТІ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ВИМОГАМ..... | 74 |
| <i>Kvasnii M., Shevchuk V., Klym H.</i> ROBOTIC PLATFORM FOR METEOROLOGICAL<br>MONITORING AND DATA ANALYSIS .....  | 76 |
| <i>Ковтун С., Щепетов В., Харченко С.</i> ВІДТВОРЕННЯ ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ<br>ПОВЕРХНЕВОЇ ГУСТИНИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ ВИСОКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ.....   | 78 |
| <i>Колодій З.</i> УТОЧНЕННЯ ПОХИБКИ ПРИ КОРОТКОТРИВАЛИХ СТАТИСТИЧНИХ<br>ВИМІРЮВАННЯХ .....   | 80 |
| <i>Коржак О., Середюк Д., Пелікан Ю., Бас О., Мануляк Р., Шевчук В.</i> ЕТАЛОННА<br>УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВІРКИ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ В ДІАПАЗОНІ ОБ'ЄМНОЇ<br>ВИТРАТИ ГАЗУ ДО 6500 МЗ/ГОД.....                      | 81 |
| <i>Костеров О., Бубела І.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ФРОНТАЛЬНОГО ТА<br>ЕКВІВАЛЕНТНОГО ОБ'ЄМІВ ЛАБОРАТОРНИХ ЕТАЛОННИХ МІКРОФОНІВ<br>НА ЕТАЛОНІ НДЕТУ AUV-03-2019 .....                              | 83 |



|   |     |
|---|-----|
| <i>Кочан О., Раюк О., Богатирчук В., Гром'як А., Кочан В.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕСТУВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРОДІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....   | 84  |
| <i>Кочан О., Раюк О., Богатирчук В., Гром'як А., Кочан В.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОЧНОЇ ПОХИБКИ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....   | 86  |
| <i>Крайовський В., Рокоманюк М., Лужецька Н., Ромака В., Пашкевич В., Стадник Ю., Ромака Л., Горинь А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА ОСНОВІ НОВОГО ТЕРМОМЕТРИЧНОГО МАТЕРІАЛУ $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ ..... | 88  |
| <i>Куц Ю., Мислович М., Щербак Л.</i> СТАТИСТИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВІБРОШУМОВИХ СИГНАЛІВ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ КРИВИХ ПІРСОНА.....  | 89  |
| <i>Малисевич В., Середюк О.</i> МЕТРОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ТЕРМОАНЕМОМЕТРА .....   | 91  |
| <i>Mikhailieva M., Shabatura Y., Odosii L., Romanchuk V., Syrota M.</i> IMPROVEMENT AND HARMONIZATION OF NATIONAL MILITARY STANDARDS TO NATO STANDARDS IN THE FIELD OF CONTROL SYSTEMS OF TECHNICAL FLUIDS OF MILITARY EQUIPMENT .....                | 93  |
| <i>Новак Д., Мошенський А., Олещенко Л., Гуйда О.</i> РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ РОБОТО ТЕХНІЧНОЮ ПЛАТФОРМОЮ.....  | 94  |
| <i>Обишта А., Шугай В.</i> ВНУТРІШНІ ЗАСОБИ ВІЯВЛЕННЯ ВИТОКІВ ЛІНІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ТРУБОВОДУ .....  | 96  |
| <i>Озгович А., Ришковський О.</i> ЛАБОРАТОРНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ В ЛАБОРАТОРІЇ РОЗУМНИХ СЕНСОРІВ НА КАФЕДРІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ .....  | 97  |
| <i>Олескевич С., Кривенчук Ю.</i> РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У СТОМАТОЛОГІЇ.....   | 98  |
| <i>Eligiusz Pawłowski.</i> USING THE LABVIEW ENVIRONMENT IN A REMOTE LABORATORY OF COMPUTER MEASUREMENT SYSTEMS .....   | 99  |
| <i>Паракуда В., Кізілівський І., Шпак О.</i> НАЦІОНАЛЬНІ ЕТАЛОНИ ОДИНИЦЬ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ЗАБЕРПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ В МЕДИЧНІЙ ГАЛУЗІ.....  | 100 |
| <i>Pytel I., Kokoshko O.</i> SOURCES OF ROBOTIC SYSTEM POSITIONING ERRORS .....   | 102 |
| <i>Пихней В., Кривенчук Ю.</i> АНАЛІЗ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ МЕТРИК КРИПТОВАЛЮТИ З ПЕРЕДБАЧЕННЯМ МАЙБУТНЬОЇ ЦІНИ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.....   | 103 |
| <i>Петренко Д., Кривенчук Ю.</i> РОЛЬ БІПЛА У СУЧАСНОМУ СВІТІ.....  | 105 |
| <i>Пономаренко О.</i> МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕНЬ У ВОДНИХ ДЖЕРЕЛАХ .....  | 107 |
| <i>Походило Є., Стасишин Ю.</i> СПОСІБ ВІЯВЛЕННЯ ДОБАВКИ 621 У ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ.....  | 111 |
| <i>Jacek Puchalski, Zygmunt Lech Warsza.</i> LINEAR REGRESSION METHOD OF MATCHING THE PARABOLIC CURVE TO TESTED POINTS OF BOTH CORRELATED COORDINATES .....   | 113 |
| <i>Рокоманюк М.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ МАТЕРІАЛУ $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ .....   | 115 |
| <i>Романенко В.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРИТТІВ.....  | 116 |
| <i>Рудик Ю., Куць В., Марич В.</i> ПОРІВНЯННЯ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ ВЕЛИЧИН РАДІАЦІЙНОГО ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....  | 117 |

|   |     |
|---|-----|
| <i>Салабай Ю., Гоц Н.</i> МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ<br>УПРАВЛІННЯ.....  | 120 |
| <i>Сидорко І., Байцар Р.</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ<br>У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ.....   | 122 |
| <i>Скоронад П.</i> ТЕРМОСТРУКТУРНА СТАБІЛЬНІСТЬ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ<br>ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛЕВИХ АМОРФНИХ СТОПІВ .....   | 124 |
| <i>Середюк О., Ткачук В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ РУХУ<br>ТА СКЛАДУ ГАЗОВОГО ПОТОКУ НА ЧУТЛИВІСТЬ<br>ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....  | 126 |
| <i>Торпаков А., Сизоненко О., Тафтаї Е., Раса Кандротайте Янутіені.</i> ОЦІНКА<br>ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХВИЛІ СТИСНЕННЯ ПРИ<br>ВИСКОВОЛЬТНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ РОЗРЯДІ У СИСТЕМІ<br>«ГАС – ПОРОШОК ТІ» ..... | 128 |
| <i>Федишин Т., Бубела Т.</i> ПРОЦЕС ПРОГНОЗУВАННЯ ЯК СКЛАДОВА КІБЕРФІЗИЧНІ<br>СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ У АГРОПРОМИСЛОВОМУ СЕКТОРІ.....   | 129 |
| <i>Хайдуров В.</i> ОБЕРНЕНІ ЗАДАЧІ ЯК ЗАСІБ АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУВАННЯ РОБОТИ<br>ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ.....  | 131 |
| <i>Shabatura Y., Popovchenko O.</i> APPLICATION OF INFORMATION AND MEASUREMENT<br>TECHNOLOGIES FOR PERFORMING THE TASKS OF ASSESSING<br>THE TECHNICAL CONDITION OF COMPLEX SYSTEMS.....                     | 132 |
| <i>Чабан О., Бойко О.</i> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ<br>ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ МЕДИЧНИХ ПОМИЛОК.....   | 133 |
| <i>Чорна О., Байцар Р.</i> ЗАПОБІГАННЯ ХАРЧОВОГО ТЕРОРИЗМУ В УМОВАХ<br>ВОЄННОГО СТАНУ .....   | 135 |
| <i>Shabatura Y.</i> INFORMATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGIES<br>IN THE COMPLEX SOLUTION OF THE PROBLEMS OF DIAGNOSTIC<br>AND ENERGY SAMPLES OPTIMIZATION OF MILITARY EQUIPMENT.....                         | 136 |
| <i>Shykhmat A., Veres Z.</i> SELECTION OF PROTOCOLS FOR REAL-TIME DATA<br>STREAMING FROM IOT DEVICES TO THE CLOUD .....   | 138 |
| <i>Starodub Y., Karpenko V., Havrys A., Danyil B.</i> RIPPED HEAT FROM DEEP<br>WELLS IN EGS-ISW PROJECT .....   | 140 |
| <i>Szlachta A.</i> LABVIEW APPLICATIONS USED IN MEASUREMENT SYSTEMS .....   | 142 |
| <i>Ярчак А., Цап В., Хавалко В.</i> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ<br>МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ГРАНИЦЬ ОБ'ЄКТІВ В МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ .....   | 143 |
| <i>Yatsyshyn S., Xinyu Z., Cherkas A.</i> HARDWARE AND SOFTWARE OF WATER STRIDER<br>ROBOT.....  | 145 |
| <i>Zygmunt Lech Warsza.</i> SELECTED BASIC PROBLEMS OF METROLOGY<br>AND MEASUREMENT TECHNIQUE FROM OWN AND JOINT WORKS.....   | 147 |
| <i>Яцук В., Куриляк Н.</i> АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНОГО<br>ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГАРТОВАНОГО СКЛА.....  | 148 |
| <i>Яцук В., Яцук Ю.</i> КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ РОЗПОРОШЕНИХ<br>СИСТЕМ НА БАЗІ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ПІДХОДІВ.....  | 150 |

## МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОНІТОРИНГУ І ДІАГНОСТИКИ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

© Віталій Бабак, 2022

Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), в.о. директора,  
член-кореспондент НАН України, д.т.н., професор, vdoe@ukr.net

Проблематика забезпечення надійності енергетичних комплексів і об'єктів належить до пріоритетних питань національної безпеки України. Понад 80% енергетичного обладнання в Україні випрацювало свій ресурс, у зв'язку з чим стає нагальною проблема створення сучасних систем моніторингу (вимірювання, контролю, ідентифікації) та діагностування такого обладнання.

Використання цих систем в енергетиці дозволяє вирішувати такі завдання: підвищення ефективності роботи енергетичного комплексу на стадіях генерування, транспортування, розподілу та споживання енергії; оптимізація теплових процесів на основі формування сигналів управління за даними моніторингу роботи цих об'єктів для забезпечення енерго-ефективності; вимірювання та обчислення поточних та прогнозованих характеристик і параметрів об'єктів енергетики для діагностування їх стану та визначення залишкового ресурсу; мінімізація впливу роботи об'єктів енергетики на довкілля; підвищення надійності та подовження ресурсу об'єктів енергетики.

Дослідження та модернізація енергетичних об'єктів, енергоємних технологій, впровадження нових енергоефективних матеріалів базуються, в першу чергу, на вимірюванні, контролі, діагностиці теплофізичних характеристик та регулюванні параметрів теплофізичних процесів. Моніторинг та оптимізація теплофізичних процесів забезпечують ефективне впровадження заходів з ресурсозаощадження та енергозбереження, що безумовно має економічну та соціальну значимість. Отримали подальший розвиток математичні моделі фізичних сигналів і полів функціонування об'єктів енергетики, алгоритми і програми визначення і статистичного оцінювання їх характеристик як основа інформаційного забезпечення роботи систем моніторингу і діагностики.

Запропоновано новий концептуальний підхід до синтезу і аналізу процедур і операцій вимірювань, що полягає в узагальненні детермінованих та ймовірнісних моделей вимірюваних величин і процесів, сигналів як носіїв інформації, а також фізичних та ймовірнісних мір для формування результату вимірювання та оцінювання його достовірності [1].

Невід'ємною складовою процесу вимірювання є питання їхнього метрологічного забезпечення. З цією метою сформовано узагальнену методологію забезпечення єдності вимірювань поверхневої густини теплового потоку. Теоретичним базисом забезпечення єдності вимірювань є математичні та фізичні моделі теплового поля для формування вхідних даних при відтворенні та передаванні одиниці вимірювання поверхневої густини теплового потоку. При вимірюваннях просторово-часових характеристик теплових полів за різних процесів теплообміну враховуються як фізичні закони теплопередавання, так і сучасні досягнення математичної та прикладної фізики, результати математичного та комп'ютерного моделювання [2]. Результатом є розширення на порядки меж робочого діапазону вимірювань, що відповідає світовому рівню метрологічного забезпечення вимірювань поверхневої густини теплового потоку та сучасним вимогам вимірювань теплових величин.

Розроблено фундаментальні основи комплексного моніторингу всього теплоенергетичного циклу – від генерування до споживання. Метою технічної діагностики є підвищення надійності та подовження ресурсу технічних систем. Проаналізовано технологічні та експлуатаційні фактори, що впливають на показники надійності об'єктів енергетики, а також визначено основні резерви підвищення їх енергоефективності. Наведена узагальнена класифікація систем діагностування об'єктів енергетики.

Узагальнено базові принципи моніторингу теплоенергетичного устаткування, систематизовані основні види та завдання систем моніторингу в теплоенергетиці, обґрунтована перспективність використання шумової діагностики в системах моніторингу об'єктів теплоенергетики; розроблені методи математичного та комп'ютерного моделювання негаусових шумових сигналів, що виникають під час роботи теплоенергетичного обладнання, в результаті встановлена доцільність використання в системах шумової діагностики кумулянтних функцій шумових процесів як інформативних характеристик [1].

Розроблено метод діагностування елементів складних теплоенергетичних об'єктів, який базується на застосуванні поточної та ретроспективної інформації з використанням нейронних мереж, що дало змогу порівнювати прогнозовані показники з наявними, а також враховувати попередні дані експлуатації теплоенергетичних об'єктів. Уперше розроблено метод прогнозування відмов елементів складних теплоенергетичних об'єктів в умовах малої кількості аномальних відхилень, що дало змогу підвищити ймовірність прогнозування відмов для оцінювання надійності

Для систем моніторингу теплотрас запропоновано використати тепловий метод контролю із застосуванням квадрокоптерів. Це дає можливість проводити моніторинг стану і динаміки характеристик в часі і в просторі досліджуваного середовища в режимі on-line, який є особливо ефективним при аваріях на ділянках просторово-розгалужених тепломереж. При штатному режимі функціонування досліджуваних об'єктів поточний дистанційний контроль є найбільш економним у порівнянні з іншими засобами контролю.

Розвинуто наукові засади моніторингу шкідливих викидів об'єктів енергетики. Наведені моделі розв'язків обернених задач моніторингу повітря. Вперше розроблена модель прогнозування параметрів довкілля (на прикладі об'ємної концентрації кисню в повітрі). Результати моніторингу можуть бути застосовані на підприємствах комунальної та промислової енергетики, а також в проектних організаціях при розробленні практичних рекомендацій щодо зниження викидів шкідливих продуктів в навколишній простір теплоенергетичними установками.

Для моніторингу теплового стану конструкцій та їх теплофізичних властивостей в процесі експлуатації будівель розроблена гама сенсорів теплового потоку. Вперше запропонована концепція моделювання сенсорів теплового потоку, в рамках якої сенсор розглядається як гетерогенне тіло із замкненими включеннями з контрастною теплопровідністю, при цьому елементарна комірка поділена ізотермічними та адіабатичними площинами. В результаті досягнуто зменшення методичної похибки вимірювання у 2-3 рази. Вперше розроблені сенсори для дослідження нестационарних теплових процесів та роботи в умовах високоінтенсивного теплообміну.

Створено інформаційно-вимірювальну систему комплексного визначення теплофізичних характеристик матеріалів та виробів, особливістю якої є наявність калориметричних модулів вимірювання теплофізичних і терморадіаційних характеристик будівельних і тепло-ізоляційних матеріалів, зокрема, енергоефективного скла, тонких покриттів, бетонних сумішей в широкому температурному діапазоні, що сприяє впровадженню заходів з енерго- і ресурсозбереження в рамках реалізації національної стратегії розвитку економіки.

Наведені перспективні напрями розвитку моніторингу та діагностики в енергетиці – проаналізовано розширення функціональних можливостей інформаційно-вимірювальних систем на базі розширення предметних сфер, меж їх застосування та задач моніторингу, номенклатури вимірюваних величин тощо.

Babak V.P., Babak S.V., Eremenko V.S., Kuts Y.V., Myslovykh M.V., Scherbak L.M., Zaporozhets A.O. Models and Measures in Measurements and Monitoring. Studies in Systems. Decision and Control, vol 360. Springer, 2021. – 266 p.

<https://www.springer.com/gp/book/9783030707828#bibliographic>  
Metrology of heat flux measurements / V.P. Babak, S.I. Kovtun, L.V. Dekusha; Ed. By Corr. Memb. of the NAS of Ukraine V. Babak. – K.: Akadempriodyka, 2022. – 122p.  
<https://doi.org/10.15407/akadempriodyka.456.122>

## МЕТРОЛОГІЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД

© Тетяна Бубела, 2022

Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор, tetiana.z.bubela@lpnu.ua

Безпечність харчових продуктів, які ми споживаємо, безпосередньо впливає на здоров'я людини на економічне зростання регіону, де практикується та підвищується їх безпечність. Головна мета політики Європейських країн щодо безпечності харчових продуктів – забезпечити високий рівень захисту здоров'я людини, що охоплює весь харчовий ланцюг. В останні роки велика увага приділяється випробуванню харчових продуктів і застосуванню метрологічних інструментів для підтримки їх безпечності. Національні та міжнародні правила безпечності харчових продуктів створили величезний попит на простежуваність вимірювань і порівнянність результатів випробувань, які не залежать від часу та місця їх проведення.

Щоб окреслити повний спектр дій, необхідних для забезпечення безпечності харчових продуктів у країнах ЄС, доповнити та модернізувати існуюче харчове законодавство та забезпечити більшу прозорість для споживачів, Єврокомісія прийняла так звану Білу книгу, основними принципами якої є:

- політика безпечності продуктів харчування має ґрунтуватися на всеосяжній і єдиній концепції, яка охоплює весь ланцюг виробництва харчових продуктів від виробника до споживача;
- передумовою успішної політики щодо продуктів харчування є простежуваність харчових продуктів та їх складників;
- аналіз ризиків розглядається як фундамент, на якому ґрунтується політика безпечності харчових продуктів.

Основні документами ЄС щодо безпечності харчової продукції є регламенти.

| Reference                                | Topic  |
|--|--|
| EEC 315/1993 (consolidated version 2009) | Definition of contaminant  |
| EC 178/2002                              | General Food Law Regulation  |
| EC 882/2004                              | Establishment of official controls system  |
| EC 852/2004                              | Hygiene of foodstuff   |
| EC 853/2004                              | Specific hygiene rules for food of animal origin   |
| EU 2017/625                              | Official control regulation (repealing EC 854/2004)  |
| EU 2019/624                              | Official controls of products of animal origin   |
| EU 2019/625                              | Import conditions  |
| EU 2019/627                              | Practical arrangement of official controls of products of animal origin  |
| EU 2020/2235                             | Import certificates  |
| EU 2021/405                              | Lists of third countries authorized to import products of animal origin  |
| EC 2073/2005                             | Microbiological criteria for foodstuffs  |
| EU 2015/1375                             | Specific rules on official controls for <i>Trichinella</i> in meat   |
| EU 2021/382                              | Food allergen management (amending Annexes to EC 852/2004), redistribution of food, concept of food safety culture |
| EC 1881/2006 (consolidated version 2021) | Maximum permitted levels in food for some specific contaminants  |

Рис. Основні Регламенти ЄС щодо безпечності харчової продукції.

Крім регламентів існує низка важливих стандартів та систем сертифікації, пов'язаних з безпечністю харчових продуктів: ISO 22000, ISO 22002-1(2,3), FSSC (Food Safety System Certification), BRC (British Retail Consortium), IFS (International Featured Standards), SQF (Safe

Quality Food), визнаними міжнародною організацією GFSI (Global Food Safety Initiative – Глобальна ініціатива з харчової безпеки). Ці стандарти відрізняються один від одного скерованістю вимог (стандарт на систему чи продукт); глибиною застосування (горизонтальний або вертикальний стандарт); рівнем застосування (регіональний, національний, міжнародний).

Метрологічна діяльність щодо безпеки харчових продуктів вимагає забезпечення надійними методами випробувань (нових) забруднювачів, харчових алергенів, токсинів і патогенів; процедури та бази даних для визначення автентичності/походження харчових продуктів, а також визначення ГМО в продуктах харчування. Тому для досягнення безпеки харчових продуктів шляхом надійних вимірювань вздовж харчового ланцюга необхідно використовувати відповідні метрологічні інструменти, найосновнішими з яких є валідація методів, оцінка невизначеності результатів вимірювання та встановлення метрологічної простежуваності. Валідовані методи, стандартизовані методи відбору проб, перевірені методи калібрування та референтні матеріали (стандартні зразки) (СЗ) є засобами, які використовуються для досягнення порівнянності результатів лабораторних випробувань, забезпечення метрологічної простежуваності та перевірки компетентності.

Встановлено, що незважаючи на збільшення виробництва нових СЗ для харчової галузі, їх все ще є недостатня кількість. Крім цього, СЗ можуть бути недоступні для певних матриць або комбінацій матриця/аналіт, або діапазону параметрів, або ж доступні рівні можуть не охоплювати всі аналітичні вимоги. Потреба в розробленні нових СЗ пов'язана з різними факторами, включаючи інновації в аналітичних техніках і розробці методів, необхідністю підтримки акредитації лабораторії відповідно до ISO/IEC 17025. З іншого боку, можна вважати, що розроблення нових СЗ може бути ускладнене специфічними проблемами досягнення однорідності та стабільності для деяких конкретних параметрів (наприклад, окремі токсини, наночастинки, підрахунок клітин).

Україна, як претендент на членство у ЄС, гармонізує нормативні документи щодо безпеки харчової продукції. Варто відзначити, що останньо було затверджено вимоги до нанесення ідентифікаційної позначки на продукти харчування тваринного походження, що дає змогу операторам ринку виконати в повному обсязі вимогу щодо забезпечення простежуваності, передбачену законодавством та окремі показники якості харчових продуктів, забезпечує реалізацію прав споживачів стосовно отримання інформації про харчові продукти, а також є черговим кроком щодо виконання Україною зобов'язань в рамках Угоди про асоціацію з Європейським Союзом. 03.11.2022р. Верховна Рада України ухвалила Закон України «Про матеріали і предмети, призначені для контакту з харчовими продуктами», в якому пропонується визначити загальні вимоги, суть яких полягає в недопущенні негативного впливу пакування на харчовий продукт та простежуваності матеріалів та предметів, що контактують з харчовими продуктами.

Отже, порівнянність результатів вимірювань та випробувань показників безпеки харчової продукції може бути досягнута завдяки використанню високоякісних референтних матеріалів (стандартних зразків), валідованих методів випробувань, правильних процедур відбору проб та перевірених методів калібрування.

## СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕТАЛОННОЇ БАЗИ АКУСТИЧНИХ ВЕЛИЧИН В УКРАЇНІ

© Дарія Дувіряк, Олександр Костеров, Іван Кізілівський, Василь Паракуда, Олександр Шпак

Державне підприємство „Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем” (ДП НДІ «Система» м.Львів, Україна),

З метою забезпечення єдності та простежуваності акустичних вимірювань в Україні створено три національні первинні еталони одиниць фізичних величин, які зберігають та експлуатують в ДП НДІ «Система».

Це, зокрема, Державний первинний еталон України одиниці звукового тиску в повітряному середовищі НДЕТУ AUV-03-2019, Державний первинний еталон України одиниці ультразвукової потужності у водному середовищі НДЕТУ AUV-01-2018 та Державний первинний еталон України одиниці звукового тиску у водному середовищі НДЕТУ AUV-02-2018.

Еталон одиниці звукового тиску в повітряному середовищі, створений в 2000 році, брав участь у чотирьох міжнародних ключових звіреннях, останнє з яких мало місце у 2015 р. – регіональне ключове звірення здійснене шляхом калібрування однодюймових лабораторних мікрофонів COOMET.AUV.A-K5 із НМІ Польщі в галузі акустики (GUM). Еталон визнаний еквівалентним аналогічним еталонам інших країн, свідченням чого є 30 СМС-рядків калібрувальних та вимірювальних можливостей України в галузі акустики у базі даних ключових звірень (KCDB) Міжнародного бюро Мір та Ваг (BIPM).

Важливим етапом у розвитку Державного первинного еталону України НДЕТУ AUV-03-2019 стала модернізація однієї з трьох еталонних устав (УЕ-ЗПУ), яку використовують для калібрування мікрофонів в умовах вільного поля. Під час модернізації еталона в 2019 р було створено заглушену кімнату, яка зменшує вплив зовнішнього фонового шуму, заглушену акустичну камеру для відтворення умов вільного поля під час проведення вимірювань та придбано сучасне вимірювальне обладнання і програмне забезпечення для визначання чутливості мікрофонів.

Одним із аспектів, який визначає шляхи подальшого розвитку еталона НДЕТУ AUV-03-2019, є необхідність моніторингу дуже динамічних подій, таких, як сейсмічна активність, контрольовані вибухи, видобуток корисних копалин, руйнування штучних споруд або випробування зброї. Тому на даний момент проводяться роботи для зменшення нижньої частоти калібрування мікрофонів. Створено експериментальну установку для калібрування мікрофонів в діапазоні частот від 0,1 Гц до 200 Гц з очікуваною непевністю вимірювань в межах від 0,05 дБ до 0,5 дБ.

В 2018 році введено в експлуатацію два еталони для забезпечення єдності та простежуваності акустичних вимірювань в ультразвуковому діапазоні частот у водному середовищі. Це національний державний первинний еталон одиниці потужності ультразвуку НДЕТУ AUV-01-2018, який забезпечує відтворення, зберігання та передавання значень ультразвукової потужності у діапазоні від 5 мВт до 10 Вт у діапазоні частот від 0,5 МГц до 15 МГц, з розширеною невизначеністю вимірювань не більше 10,7 % (залежно від частоти). та національний державний первинний еталон одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі НДЕТУ AUV-01-2018, який відтворює одиницю ультразвукового тиску в діапазоні від 10,0 кПа до 100 кПа в діапазоні частот від 0,5 МГц до 10 МГц з розширеною невизначеністю вимірювань, що не перевищує 18,0 %.

Для забезпечення метрологічної простежуваності Національних еталонів ультразвукового тиску та ультразвукової потужності у водному середовищі до міжнародних еталонів

та до опорних значень ключових звірень, проведених під егідою ССАУВ, у 2022 році планується калібрування «еталонів переносників» з комплектів Національних еталонів України на відповідних еталонах Німеччини ( РТВ), зокрема: калібрування двох голкових гідрофонів які є еталонами переносниками одиниці ультразвукового тиску у складі Національного еталона одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі НДЕТУ АUV-02-2018, та високочастотних ультразвукових випромінювачів з монокристалічними чутливими елементами типу UA 25x1,8М та 30x2М, що входять до складу Національного еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі НДЕТУ АUV-01-2018.

Калібрування планується в рамках проекту технічної співпраці «Підтримка та впровадження угоди про асоціацію між Україною та ЄС в сфері метрології»

В планах проведення міжнародних звірень національних еталонів ультразвукового тиску та ультразвукової потужності у водному середовищі в рамках міжнародної метрологічної організації EURAMET.



## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

© Микола Микійчук, Святослав Яцишин, 2022

Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), директор інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології, д.т.н., професор, mykola.m.mykyichuk@lpnu.ua

Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор, sviatoslav.p.yatsyshyn@lpnu.ua

Швидкоплинність процесів, що відбуваються у науково-технічному суспільстві (військова операція у Севастопольській бухті з використанням різних видів дронів, роботизація виробництв та побуту) зумовлюють прискорені зміни вимог до метрології та метрологічної діяльності.

Цифровізація світу швидко змінює суспільство та економіку. Метрологія як центральний елемент міжнародної торгівлі (забезпечення довіри до результатів вимірювань, важлива частина інфраструктури якості) стикається з новими викликами стосовно розвитку інформаційно-вимірювальних технологій (ІВТ).

Основними напрямками розвитку ІВТ можна вважати наступні:

1. Удосконалення перетворювачів вимірювальної інформації та систем забезпечення єдності вимірювань.
2. Створення метрології для даних.
3. Посилення процесів інтегрування ІВТ у всі сфери людської життєдіяльності.

Удосконалення перетворювачів вимірювальної інформації відбувається шляхом створення перетворювачів із використанням нових ефектів (наноутливі елементи, біо- та хімічні рецептори), цифровізація сенсорів, перехід до перетворень на основі частотно-залежних властивостей.

Розподілені вимірювальні компоненти та сенсорні мережі стають важливішими, ніж окремі засоби вимірювань. Чинні еталони втрачають на кілька порядків свої характеристики точності при передачі їх до кінцевого споживача, і це вважається нормальною метрологічною практикою. Тому сучасні системи забезпечення простежуваності результатів вимірювань мають включати методи відстежуваного спільного калібрування та метрологічної оцінки цілих сенсорних мереж, при цьому створювати можливості оцінки метрологічних характеристик конкретних вимірювальних каналів на протязі тривалого часу та в залежності від умов застосування.

Алгоритми та програмне забезпечення стають такими ж важливими, як і фактичні вимірювання. У епоху цифрових технологій, злиття сенсорів і віртуальні вимірювальні інструменти замінюють багато сучасних метрологічних інструментів і принципів. Їх використання вимагатиме перегляду встановлених методологій для оцінки невизначеності та оцінки алгоритмів. Цифрове перетворення вимірювальної інформації вимагає безпечної та надійної метрологічної інфраструктури. Масове впровадження інтернету в метрологічну діяльність підвищує вимоги до безпеки метрологічних даних. Це ставить вимогу до створення метрології для даних.

Посилення процесів інтегрування ІВТ у всі сфери людської життєдіяльності ставить вимогу підвищення ефективності ІВТ (масовість застосування та досить висока точність при низькій вартості).

Отже, цифрова трансформація суспільства ставить нові виклики до метрології та метрологічної діяльності, посилює роль ІВТ в епоху цифрових технологій.

## ЩОДО МАЙБУТНЬОГО ПЕРЕВИЗНАЧЕННЯ ОДИНИЦІ ЧАСУ – СЕКУНДИ

© Павло Несєжмаков, 2022

Національний науковий центр «Інститут метрології» (Харків, Україна), генеральний директор, член Міжнародного Комітету з мір та ваг, проф. д.т.н., професор, pavel.neyezhnikov@metrology.kharkov.ua

У системі SI, яка була введена 26-ю Генеральною Конференцією з мір та ваг 20 травня 2019 року, секунда пов'язана з усіма іншими основними одиницями за винятком моля. Це не випадково, адже система еталонів, що ґрунтується на вимірюванні частоти (часу), відрізняється не тільки найвищою точністю, але і є набагато зручнішою і доступнішою для користувачів ніж існуюча нині система еталонів, перш за все з точки зору передавання еталонних частот. Єдина вимога полягає в тому, щоб вимірювання, що дозволяють зв'язати будь-яку величину (наприклад, електричну) з частотою, можна було легко виконати в будь-якій обладнаній лабораторії. Оскільки, нове визначення ампера і вольт пов'язано з частотою (часом), то опір і потужність також будуть пов'язані з частотою. Практична реалізація одиниці довжини також ґрунтується на частотах (довжинах хвиль) лазерного випромінювання, що виступають як природні сталі.

Очевидно, що в новій системі SI фундаментальні фізичні сталі є вже не просто коефіцієнтами переходу від механічних до мікроскопічних одиниць – вони стають засобом, за допомогою якого можна безпосередньо використовувати еталон частоти у вимірюваннях багатьох фізичних величин.

Останнє перевизначення секунди через Cs-133 (коригування формулювання) було введено в дію в 2019 році.

**Секунда, позначення s, є одиницею часу в SI. Вона визначається прийняттям фіксованого числового значення частоти  $\Delta\nu_{Cs}$  надтонкого переходу атома цезію-133 в незбуреному основному стані, що дорівнює 9 192 631 770, вираженого одиницею Hz, яка дорівнює  $s^{-1}$ .**

З метою запровадження практичних рекомендації щодо відтворення основних одиниць SI Консультативний комітет часу та частоти (CCTF) розробив *Mise en pratique*, в якому втілено найкращий на цей час метод згідно з існуючим визначенням (Таблиця 1).

Таблиця 1

| Основна одиниця | Стала, до якої простежується одиниця  | Первинний (референтний) метод відтворення | Основна апаратура         |
|-----------------|---|---|---------------------------|
| Секунда         | $\Delta\nu_{Cs}$ – частота переходу між двома рівнями надтонкої структури атома цезію-133 | Квантовий перехід в цезії-133             | Цезієвий стандарт частоти |

Вважається, що потенційна точність класичного цезієвого стандарту частоти пучкового типу знаходиться поблизу  $1 \cdot 10^{-14}$ , і вона обмежена тепловим рухом атомів цезію.

З відкриттям лазерних методів охолодження атомів, що ґрунтуються на взаємодії атомів із фотонами світла, це обмеження вдається усунути і підвищити точність приблизно на один-два порядки. Поєднання ідей цезієвого стандарту частоти вертикальної конструкції та лазерного охолодження привело до створення в низці країн так званого «цезієвого фонтану».

Відзначимо, що роботи і дискусії навколо перевизначення одиниць і методів їх реалізації сприяли впровадженню і стимулюють подальший розвиток квантових методів і технологій у *практичній метрології*. Що стосується часо-частотних вимірювань, на сьогодні досягнуто таких практичних результатів зі створення квантових стандартів частоти оптичного діапазону, заснованих на переходах в надзвичайно стабільних у часі нейтральних атомах.

На останньому засіданні ССТФ у зв'язку з тим, що стандарти оптичної частоти, засновані на різних видах переходів, за останній час перевершили за точністю Cs-133 у сто разів, було затверджено дорожню карту і запропоновано винести на 28-ме засідання CGPM (2026 р.) пропозиції щодо вибору кращого виду або сукупності видів переходів.

Розглядається декілька варіантів визначення.

**Варіант 1:** Нове визначення на основі однієї опорної оптичної частоти. У цьому варіанті нове визначення базується на підході поточного визначення шляхом вибору випромінювання, що відповідає одному атомному еталонному переходу в діапазоні оптичних частот. Первинна реалізація здійснюється з первинними стандартами частоти на основі цього переходу. Цезій стає вторинним представленням секунди SI.

**Варіант 2:** Нове визначення на основі ансамблю еталонних оптичних частот. Другий варіант пропонує використання середнього геометрично зваженого ансамблю обраних частот переходів. Вага кожного переходу спочатку фіксована і обернено пропорційна квадрату невизначеності найкращих стандартів, заснованих на цьому переході на момент перевизначення. Реалізація секунди SI здійснюється за допомогою стандартів частоти на основі переходів частини визначеного ансамблю з використанням матриці співвідношення частот, яка оновлена CIPM. Таким чином, кожен перехід визначеного ансамблю є представленням визначення, включаючи поточний опорний перехід Cs, якщо він є частиною ансамблю. Такий підхід оптимально поєднує концепцію і використання первинних і вторинних репрезентацій секунди.

**Варіант 3:** Нове визначення, засноване на фіксації значення іншої фундаментальної константи. Третій варіант спрямований на фіксацію значення іншої фундаментальної константи, як це було зроблено для інших одиниць SI шляхом фіксації значення швидкості світла  $c$ , сталої Планка  $h$ , сталої Больцмана  $k$ , заряду електрона  $e$ . Цей підхід безпосередньо пов'язаний із загальною теорією відносності та стандартною моделлю фізики елементарних частинок.

Вважається, що *Mise en Pratique* буде базуватиметься на атомарних переходах, або одному, як у **варіанті 1**, або ансамблі, як у **варіанті 2**. Важливим питанням у дискусії про перевизначення є вибір найкращого варіанту для нового визначення. Наразі **варіант 3** неможливий, оскільки не існує відомої фундаментальної фізичної сталої з необхідною точністю. Однак досі немає одностайної думки щодо вибору між **варіантом 1** (один перехід) і **варіантом 2** (ансамбль переходів), хоча більшість учасників опитування, яке проводив ССТФ, віддали перевагу **варіанту 1**.

Ось чому 27-ма CGPM прийме резолюцію «Щодо майбутнього перевизначення секунди», в якій заохочує Міжнародний комітет з мір та ваг (CIPM):

– сприяти важливості досягнення цілей, поставлених у дорожній карті перевизначення секунди,

– подати на 28-му засіданні CGPM (2026 р.) пропозиції кращого варіанту або варіантів нового визначення секунди, а також подальших кроків, що мають бути вжиті для прийняття нового визначення на 29-му засіданні CGPM (2030 р.),

і закликає держав-членів сприяти дослідницькій діяльності й розвитку національних та міжнародної інфраструктур для забезпечення прогресу на шляху до прийняття нового визначення секунди.

## ОПРАЦЮВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ІR-ОЦІНКИ ВІДХОДУ ВІД СТАБІЛЬНОСТІ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ЗОВНІШНЬОГО КОРПУСУ

© *Сергій Прохоренко<sup>1</sup>, Мирослава Прохоренко<sup>2</sup>, Микола Мороз<sup>3</sup>, Юрій Фітькало<sup>4</sup>, Дмитро Шевель<sup>4</sup>, 2022*

<sup>1</sup> Національний університет Львівська Політехніка, д.т.н., професор [Serhii.V.Prokhorenko@LPnu.ua](mailto:Serhii.V.Prokhorenko@LPnu.ua)

<sup>2</sup> Національний університет Львівська Політехніка, к.ф.-м.н, доцент;

<sup>3</sup> Національний університет водного господарства та природокористування, д.ф.-м.н., професор;

<sup>4</sup> ТОВ «Лімпід Гір», к.ф.-м.н.

Належний термічний контроль складних конструктивно елементів конструкцій є об'єктом тривіального розгляду у побудові систем тривожного аналізу (зокрема систем аварійного реагування на зональне перевищення теплового навантаження поверхні конструкції). Проблематичним моментом, втім є необхідність встановлення систем тепловізійного (IR) контролю (зокрема IR-камер) у зонах підвищеної загрози для контрольованого обладнання або ймовірних пошкоджуючих чинів цього обладнання щодо вимірної апаратури. Нами було проведено аналітичні та експериментальні оцінювання можливості функціонування систем рознесення взаємних загроз.

У якості контрольних об'єктів, що створюють загрозу належному функціонуванню вимірювальної апаратури було обрано фабричні ливарні системи (зокрема контроль футеровки сталерозливного ковша, що проводився в умовах фабричної роботи). Проблемою тут була необхідність реєстрування стану перегріву елементів достатньо об'ємної конструкції, з гарантуванням функціональності роботи вимірного комплексу у достатньо-несприятливих умовах розльоту викидів високої температури (у процесі розігріву ковша) та елімінації осаджень на оптичній системі вимірного комплексу. Додатковим несприятливим моментом для стабільної вимірювального процесу був напівавтоматичний процес встановлення ковшової системи.

Зворотня задача – (ймовірність виникнення загроз від вимірювального обладнання) була аналізувалася для формування систем протипожежного захисту нафтових терміналів, де встановлення довільних енергетичних систем (втім і термокамер) є моментом ретельного аналізу. Вирішеним проблемним моментом тут було топологічне розміщення цих термінальних комплексів у зонах періодичних тропічних штормів, або пісчаних буревіїв.

У межах НДР-розв'язання, замовленого нам фабрикою корпорації було запропоновано концептуальний підхід (та практично апробовано функціональність методики у реальних фабричних умовах функціонуючої на той момент сталє-ливарної фабрики, на жаль, знищеної у результаті воєнних дій) -- встановлення систем оптичного передавання тепловізійної інформації на унітарний реєструючий пристрій. Проблематика пошкоджень дзеркальної складової – вирішена між-вимірною заміною компонентів з перекалібруванням їх топологічного розташування з використанням додаткової курсової камери оптичного діапазону високого розділення та установочних маркерів на замінних компонентах.

Запропоновано (та модельно апробовано – практичне використання не відбулося ще наразі) систему дистантного контролювання груп нафтових танків. Проблемні моменти тут вирішувалися системами відцентрового неелектричного очищування систем відображення.

Загалом модельна та практична апробація запропонованого методу дала змогу отримати належний економічний ефект (умови сталє-ливарні) та передбачити позитивний протипожежний ефект структури нафтових танкових полів.

## REAL-TIME ESTIMATION AND CONTROL FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS AND VEHICLES

© Taras Borovets<sup>1,2</sup>, Andrii Lozynskyy<sup>3</sup>, Lyubomyr Demkiv<sup>4,5</sup>, 2022

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), student of the Department of Electromechanics and Computerized Electromechanical Systems, taras.v.borovets@lpnu.ua

<sup>2</sup>SoftServe (Lviv, Ukraine), Robotics Engineer, tboro@softserveinc.com

<sup>3</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), professor of the Department of Electromechanics and Computerized Electromechanical Systems, Sc.D, Ph.D., professor, andriy.o.lozynskyy@lpnu.ua

<sup>4</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), professor of the Department of Information Systems and Networks, Sc.D, Ph.D., professor, lyubomyr.i.demkiv@lpnu.ua

<sup>5</sup>SoftServe (Lviv, Ukraine), Robotics Practice Leader, ldemk@softserveinc.com

Over the past decades, intelligent autonomous systems have become a standard for mobile robots and vehicle components to improve performance and safety. Especially the usage of autonomous vehicles/robots is crucial in severe environments where people's operation is limited or required special skills. One of these conditions is driving over rough terrain. Indeed, uncertain and rapid terrain disturbances require a fast and accurate control response to maintain a vehicle's mobility. Moreover, agile tire dynamics, which was recently presented [1], aims to radically decrease the response time of individual wheel torque controls in the presence of dynamic stochastic changes in road and terrain conditions. An essential reduction of the response time can be achieved by reducing the time needed for (i) sensing and estimating the state of the dynamic system, (ii) control decision-making, and (iii) for the actuator to react to control input. In order to provide fast and precise control, robot system states may be required which cannot be directly measured due to some technical and cost-effective reasons, such as the lack of an appropriate sensor, unacceptable operational, high cost of some sensors, etc. In this regard, different estimation and observation techniques have been used to quantify variables that cannot be measured directly by sensors. On the other hand, the usage of observers improves the reliability and energy efficiency of the whole robot/vehicle system by reducing the number of sensors (components/ energy consumers). Indeed, the utilization of some types of sensors in severe environment are limited or reduces the lifecycle of these units. Moreover, in the paper [2] is proved that accurate estimation of tire/terrain characteristics, which cannot be measured directly or required expensive sensors, increase energy efficiency by reducing slippage power losses.

Today, there are a large number of observation methods that are widely used to assess the dynamic state of robots/vehicles. The Kalman filter [3], the Luenberger observer [4] and the particle filter [5] are the most commonly spread algorithms used for both linear and non-linear systems. Although observation algorithms reduce the impact or avoid the disadvantages of using sensors, their application requires, in particular, an adequate mathematical model and additional computational resources of the controller. The problem of computational cost is particularly critical in the case of a particle filter since a large number of particles is required to ensure high observation accuracy. In order to reduce the computational complexity, a modification of the particle filter, called the fuzzy particle filter, was proposed here. The modified algorithm involves switching the number of particles during the estimation process of the state vector using fuzzy logic with only one fuzzy input.

Moreover, applying intelligent algorithms in observation techniques is not limited to one case. In order to adopt the Luenberg observer for a non-linear system, the fuzzy logic can be applied to combine several linear LOs, which are designed at specific points of the linearized non-linear system. The fuzzy logic switches between the LOs depending on the location of the states. The fuzzification is based on the states or the inputs, which are components of nonlinearity factors. Unlike the conventional fuzzy-LO, in this study, it is proposed to calculate only an observer gain using fuzzy logic.

An analysis of research and engineering directions in ground vehicle dynamics and sub-system design revealed that open architecture-type and multi-domain (hybrid and electric) sub-systems could be considered as core directions in future robots/vehicle engineering. In this study, the open or flexible architecture approach is mathematically implemented in an open-link locomotion module as a basis for the modular design of ground robots/vehicles [6]. The wheel locomotion module is an assembly unit of a 4-wheel drive vehicle. The module consists of a wheel with suspension, an electric driveline, a steering system, and a brake system. In the article, a comparative analysis of a traditional particle filter and a particle filter with fuzzy logic is carried out by modelling in the MATLAB environment. In addition, the Fuzzy-Luenberger observer is simulated as well. For this purpose, a model of the wheel locomotion module was developed. The model consists of the module, road, sensors, and an agile controller, which input is determined by the observers. The interaction of the wheel with the road surface is simulated according to the approaches described in [6-7], which take into account the tire slippage and changes in the sliding and rolling coefficients during movement. The module movement on asphalt and grass surfaces (meadow) is considered.

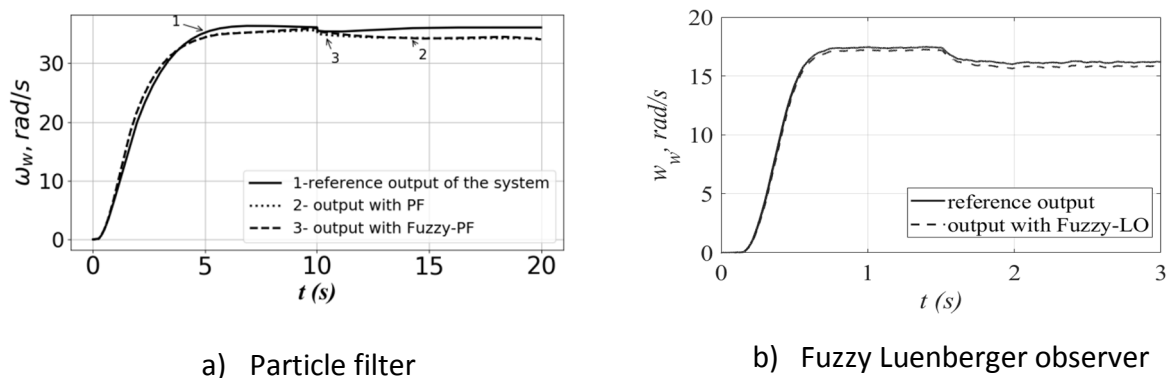


Fig. 1. Results of simulation: system output (the wheel velocity) without observers and with different observers.

The results confirm the feasibility of using fuzzy-based observers to determine the states of the robot/vehicle system in real-time, which enables the synthesis of a vehicle mobility controller.

1. Vantsevich, V. V. (2014, August). *Wheel Dynamics Fundamentals for Agile Tire Slippage Modeling and Control*. In *ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (pp. V003T01A019-V003T01A019). American Society of Mechanical Engineers.

2. Vantsevich, V., Gorsich, D., Lozynskyy, A., Demkiv, L., Borovets, T., Klos, S., 2019b, *Reference Torque History for Sustainable Mobility and Energy Efficiency Under Target Velocity Profiles*. *Proceedings of the ISTVS 15 th European-African Regional Conference, Prague, Czech Republic, September 9-11, 2019*

3. Kalman R.E. *A new approach to linear filtering and prediction problems*. *Journal of basic Engineering*. 82 (1), 35–45 (1960).

4. Luenberger D.G. *Observing the state of a linear system*. *IEEE transactions on military electronics*. 8 (2), 74–80 (1964).

5. Gordon N.J., Salmond D.J., Smith A.F. *Novel approach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation*. *IEE Proceedings F – radar and signal processing*. 140 (2), 107–113 (1993).

6. Gray, J. P., Vantsevich, V. V., Opeiko, A. F., & Hudás, G. R. *A Method for Unmanned Ground Wheeled Vehicle Mobility Estimation in Stochastic Terrain Conditions*. In *Proc. of the 7th Americas Regional Conference of the ISTVS, Tampa, Florida, USA. 2013*

7. Vantsevich V., Gorsich D., Lozynskyy A., Demkiv L., Borovets T. 2019 *e State Observers for Terrain Mobility Controls: A Technical Analysis IFToMM 2019 The 15th IFToMM World Congress, June 30 – July 4, 2019, Krakow, Poland.*

# ALTERNATIVE TIP- AND LASER- BASED NANOFABRICATION IN LARGE AREAS ON FLAT AND NON-FLAT SURFACES WITH SUBNANOMETRE PRECISION

© Prof. Eberhard Manske

Institute of Process Measurement and Sensor Technology, Faculty of Mechanical Engineering Technische Universität  
Ilmenau, Gustav-Kirchhoff-Str.1, 98693 Ilmenau, Germany  
e-mail: eberhard.manske@tu-ilmenau.de

## Abstract

More and more new AFM tip-based or laser structuring methods have been attracting attention as alternative lithography approaches for some years now [1]. But most of them have only been demonstrated in the micrometer range so far, and measurement and positioning technology is usually inadequate. Instruments that can measure and structure on flat and even non-flat surfaces in growing fields of application at the atomic level are the focus of the latest developments in consistent continuation of Nanopositioning and Nanomeasuring Machines created at the Technical University of Ilmenau [2].

The Nanopositioning and Nanomeasuring Machines (NPMM-25 and NPMM-200) of the Institute Process Measurement and Sensor Technology and the new developed Nano Fabrication Machine 100 (NFM-100) serves as important experimental platforms for basic research in the field of scale-spanning AFM tip-based and laser-based nanofabrication for subnanometre structuring. The laser interferometer based high precision machines have 20 picometer resolution and subnanometer reproducibility. They can be equipped with AFM heads as well as with laser systems that can both write and read, i.e. measure with nanometer reproducibility and accuracy.

This paper describes the combination of the extraordinary capabilities of the NPM-machines in combination with promising nanofabrication technologies, e.g. advanced scanning proximal probe lithography based on Fowler- Nordheim electron field emission, direct laser writing, and UV nanoimprint lithography.

**Keywords:** nano fabrication, nano positioning, sub-nanometre precision, tip-based patterning, direct laser writing, extended working area

1. A. Tseng, S. Jou, A. Notargiacomo, T.P. Chen: Recent Developments in Tip-Based Nanofabrication and Its Roadmap. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Volume 8, Number 5, May 2008, pp. 2167-2186 (20), 2008
2. E. Manske, G. Jäger, T. Hausotte, R. Füßl: Recent developments and challenges of nanopositioning and nanomeasuring technology. Measurement Science and Technology 23 (2012), 074001 (10pp)

## Biography

Prof. Dr.-Ing. habil. Eberhard Manske holds a professorship “Production and Precision Measurement Technology” at the Technische Universität Ilmenau since 2008. He obtained the doctoral degree in 1986, and in 2006 the postdoctoral lecturing qualification. His research activities are in the fields of the development of Nanopositioning and Nanomeasuring Machines, especially focused in high precision laser interferometry, laser stabilization, frequency comb technology, optical and tactile nano sensors and scanning probe techniques. Newly research work is carried out in direction of tip and laser based nanofabrication. Since 2017 he leads the research training group “Tip- and laser-based 3D-Nanofabrication in extended macroscopic working areas (NanoFab)” funded by the German Research Council.



## **MULTIPLEXED, RANGE-RESOLVED INTERFEROMETERS BASED ON LASER DIODES**

© *Thomas Kissinger 2022*

Group for Nanofabrication and Nanometrology  
Institute of Process Measurement and Sensor Technology,  
Faculty of Mechanical Engineering  
Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Germany  
thomas.kissinger@tu-ilmenau.de

Optical interferometry is widely used for non-contact, precision measurements in many areas of science and technology, enabling fundamental physical experiments, such as the hunt for gravitational waves, as well as underpinning important industrial technologies, such as semiconductor fabrication. However, optical interferometry is often perceived as an expensive and complex approach that is difficult to use in real-world applications.

The talk will focus on the novel measurement possibilities that recently developed wavelength-modulated interferometric approaches, such as the range-resolved interferometry technique, offer. These allow simultaneous and highly stable measurements at multiple locations within an optical beam, even when using cost-effective and robust processing hardware and diode lasers originating from the telecoms industry. The talk will present some of the fundamentals of the range-resolved signal processing approach and show experimental results from current applications in precision engineering.



## DESIGN AND CONTROL OF AGILE ROBOTIC LEG

© *Jakub Tomaszewski<sup>1</sup>, Mariusz Janiak<sup>2</sup>, 2022*

<sup>1</sup>Wrocław University of Science and Technology (Wrocław, Poland), SoftServe (Wrocław, Poland), MSc,  
241576@pwr.edu.pl, jtoma@softserveinc.com

<sup>2</sup>Wrocław University of Science and Technology (Wrocław, Poland), SoftServe (Wrocław, Poland), PhD,  
mariusz.janiak@pwr.edu.pl, mjanias@softserveinc.com

**Abstract:** This paper presents a method for designing dynamic robotic legs that are capable of performing a vertical jump. To achieve this, a simulation model was derived and the jump motion was optimized. Based on the simulation, the leg parameter requirements were determined and a leg prototype was developed. To make it possible to apply the trajectory on the real model, an appropriate control system was designed. To validate the results, a series of experiments were performed.

### *Introduction*

Jumping is associated with a large ground reaction force (GRF) and a short duration of the launch phase [1]. It is observed that animals with extremely different scales can achieve the same magnitude of jump height because they are geometrically similar [2]. The analogy for robots is the same as for animals. The phenomena became a motivation to check how changes in the dimensions of the robotic leg affect the requirements of the joint actuators to perform vertical jump.

### *Modeling and simulation model*

The highly dynamic legged jumping motion is a challenging research topic due to the lack of well-established control schemes that handle the constrained control objective. Since there are many parameters that influence each other, a nonlinear optimization task was defined. The dynamics of the leg was defined as a single point mass accelerated due to the ground reaction force, which is the only external force that could change the mechanical energy of the system [3]. It was assumed that the foot of the leg remains in contact with the ground during the launch phase. To ensure that foot position and velocity are consistent with those resulting from the ground reaction force, necessary constraints were introduced to the optimization. In addition, to ensure that the obtained trajectory is feasible, the constraints of position, velocity and torque of the leg actuators were established. The objective of the optimization is to minimize the energy required to perform the motion. The presented research [4] shows that in such a case it is prudent to minimize torque, acceleration and their changes. The profile of ground reaction force obtained as a result of optimization is consistent with the presented analysis of a vertical jump [5]. This shows that all necessary constraints are included in the optimization task and the results correspond to reality.

### *Mechanical structure*

To determine the requirements of the mechanical structure of the leg, several simulations were performed. It was decided to use 3D printing technology to manufacture the entire leg. By comparing different types of gearbox, a capstan drive was chosen which is a cable-driven mechanism. Then an appropriate actuator was manufactured and tested. Based on the tests, it was concluded that the mechanism provides zero backlash, low inertia, and backdrivability, which are all required in legged robots. Having determined the requirements and the leg parameters, a two degrees of freedom leg was designed and manufactured. The 3D model of the designed leg is presented in Figure 1.



Fig. 1. 3D model of the designed leg

### *Experiments*

Having implemented the optimization task, leg prototype, and configured control system, the compatibility of the simulation model with the real one was examined. For this purpose, the optimal

launch phase trajectories for different take-off velocities were generated. Then the obtained trajectories that differ significantly in the acceleration, torque, and velocity requirements of the joints were applied to the physical model. Figure 2 presents an example vertical jump in the launch phase.

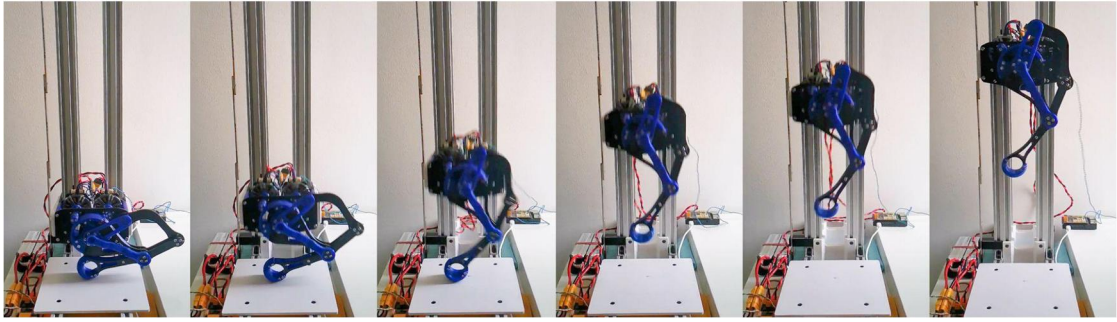


Fig. 2. Sequential screenshots of one vertical jumping experiment in the launch phase

The comparison between the calculated and measured position and velocity in the launch phase of the vertical jump for take-off velocity equal 15 rad/s is shown in Figure 3. It can be seen that the position and velocity trajectory are accurately tracked. During performed experiments, the leg reached a maximum jump height of 0.415

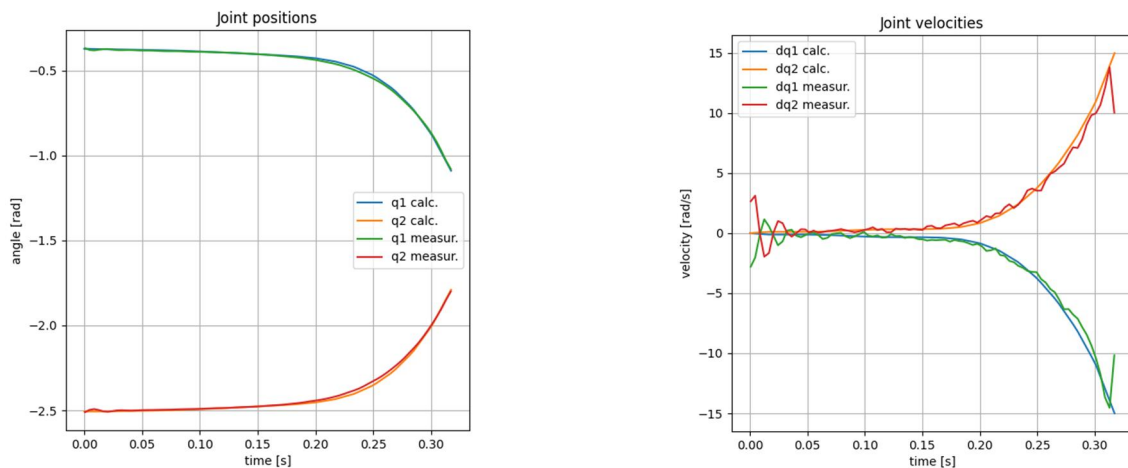


Fig. 3. Comparison of the calculated and measured position and velocity during the launch phase

### Summary

This paper presents a method for designing dynamic robotic legs. The research shows that using nonlinear optimization it is possible to choose design parameters that can be successfully used to manufacture a high-dynamic robotic leg. Moreover, the designed leg prototype proves that 3D printing and cable-driven actuators are a promising solution for dynamic legged robots.

1. R. M. Alexander, “Exploring biomechanics. animals in motion” *Scientific American Library*, New York, 1992.
2. K. Schmidt-Nielsen, “Scaling: why is animal size so important?” *Press Syndicate of the University of Cambridge*, 1984.
3. Y. Ding and H.-W. Park, “Design and experimental implementation of a quasi-direct-drive leg for optimized jumping” *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2017.
4. D. Tian, J. Gao, X. Shi, Y. Lu, and C. Liu, “Vertical jumping for legged robot based on quadratic programming” *Sensors*, vol. 21, 2021.
5. N. P. Linthorne, “Analysis of standing vertical jumps using a force platform” *American Journal of Physics*, vol. 69, pp. 1198–1204, 2001.

## ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ У КОМПЛЕКСНОМУ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ ДІАГНОСТИКИ І ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗРАЗКІВ ОБТ

© Юрій Шабатура, 2022

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного (Львів, Україна), завідувач кафедри електромеханіки та електроніки, д.т.н., професор, shabaturayuriy@gmail.com

Основним фактором сьогодення, який впливає на усі процеси і діяльність громадян нашої держави є війна. Існує чимало визначень для міждержавних збройних конфліктів, однак, якщо відкинути емоції і політичні аспекти, то війна Російської Федерації проти України поступово перетворюється у війну технологій. І у кого вони будуть більш досконаліми той і буде отримувати перевагу. Звичайно, не треба відкидати значення таких факторів, як військове мистецтво, мужність і героїзм воїнів і т.д., однак, об'єктивно потрібно констатувати, що рівень техніки і технологій, які застосовуються у збройних конфліктах, сьогодні стає визначальним.

Військова техніка і військові технології. Вони сьогодні надзвичайно різноманітні, базуються на останніх досягненнях науки і техніки практично в усіх галузях, тому і задачі, які є для них актуальними і потребують вирішень є ще більш різноплановими. Водночас, при всьому різноманітті технологій і зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) можна виділити кілька задач, які залишаються спільними для них усіх. Це задачі забезпечення максимальної точності, мінімальних витрат часу, максимальної надійності та енергоефективності. Як показала практика і наш багаторічний досвід, інформаційно-вимірювальні технології сьогодні відіграють ключову роль у комплексному вирішенні даних задач.

У межах допустимого я у своїй доповіді спочатку зупинюсь на задачі забезпечення надійності зразків ОБТ. Сучасні зразки ОБТ є дуже складними системами, які об'єднують у собі чимало підсистем, вузлів та агрегатів, проте, з точки зору функціонального призначення, головним залишається саме озброєння, а всі інші складові відіграють допоміжну роль і лише забезпечують максимальну ефективність застосування озброєння. Аналіз сучасного озброєння показує, що лише за вкрай незначним винятком, воно відноситься до вогнепальної зброї. Тобто, винайдений ще багато століть тому порох і сьогодні залишається основною «робочою речовиною», яка приводить у дію сучасну зброю. Функціонування вогнепальної зброї за принципом дії є імпульсним, короткотривалим процесом однократної або серійної дії у вигляді імпульсної послідовності, які ініціюються швидким горінням порохових зарядів. Причому, процеси стрільби завжди викликають великі ударні механічні навантаження на усі пристрої, вузли та агрегати озброєння. В певній мірі ці явища нагадують класичні перехідні процеси, які вивчаються при синтезі і аналізі систем автоматики. А, як відомо з теорії автоматичного управління, саме перехідні характеристики, як реакції системи на вхідні одиничні впливи, дозволяють повністю оцінити динамічні властивості такої системи. В нашому випадку фактично режим перехідного процесу є робочим режимом систем озброєння. Ця обставина навела на ідею використати сигнали, що породжуються цими процесами для оцінки технічного стану озброєння. На основі зазначеної ідеї був розроблений метод оперативної діагностики технічного стану основних вузлів артилерійського озброєння, який базується на сприйманні віброакустичних сигналів, що створюються під час пострілів з наступною їх первинною обробкою і оцифруванням та подальшим аналізом з використанням засобів штучного інтелекту при взаємодії з базою даних у якій представлені характерні спектри таких сигналів отриманих під час пострілів відповідних зразків озброєння різними типами боєприпасів та порохових зарядів.

Важливо зазначити, що при практичній реалізації вище розглянутого методу традиційні вимоги забезпечення мінімальних похибок при вирішенні метрологічних задач подібного класу відступають на другий план по відношенню до інтелектуального аналізу отриманих

сигналів засобами штучного інтелекту. Фактично, це означає отримання більш якісного вирішення метрологічної задачі не за рахунок підвищення якості вимірювань в класичному розумінні самого процесу вимірювань, а за рахунок інтелектуального аналізу гірших за якістю результатів вимірювань.

Задача досягнення максимальної енергоефективності існувала і буде існувати завжди і для будь-яких технічних систем та технологічних процесів. Крім того цілком очевидним є і той факт, що її вирішення не може бути кінцевим, воно має ступінчатий характер і буде «безкінечно» наближатися до «ідеального» рішення, але ніколи його не досягне, оскільки останнього не існує вже в силу фундаментальних фізичних обмежень, які не дозволяють досягти 100% для коефіцієнта корисної дії. В певній мірі тут простежується аналогія з визначеннями абсолютного значення вимірюваної фізичної величини та абсолютної похибки результату вимірювань.

Особливо важливого значення набуває енергоефективність для самохідних зразків ОВТ. Проте вона в даному випадку має дві самостійних складові. Енергоефективність самого озброєння і енергоефективність силової установки, яка забезпечує пересування зразка ОВТ. Сучасне озброєння, за дуже незначною часткою, є вогнепальною зброєю, а тому, по своїй суті, є спеціалізованою тепловою машиною імпульсної однократної або імпульсно-послідовної дії, причому з доволі низьким коефіцієнтом корисної дії. Радикально підвищити енергоефективність такої зброї без зміни принципу її дії практично не є можливим, однак покращити її за рахунок перетворення частини розсіяної енергії в корисну енергію, яку можна накопичувати цілком можливо. Такий підхід отримав своє наукове підґрунтя і має конкретні технічні рішення для стрілецького та артилерійського озброєння, які захищені патентами України. В даних рішеннях теж використовуються вимірювальні технології, які забезпечують підтримування режиму максимальної ефективності процесів перетворення.

Значно складнішою виявилася задача підвищення енергоефективності основних силових установок зразків ОВТ, оскільки вони практично без виключень представлені дизельними двигунами. Ці двигуни є досить складними системами, які на даному етапі ми не можемо конструктивно змінювати, тому в якості оптимізації з метою підвищення загальної енергоефективності був використаний лише один фактор, а саме процес змащування найбільш відповідальних вузлів двигуна. Згідно стандартної конструктивної компоновки, змащування зазначених вузлів двигуна здійснюється за допомогою масляного насоса, який безпосередньо механічно зв'язаний з колінчастим валом двигуна, а тому його продуктивність залежить виключно від кількості оборотів колінчастого вала і не враховує ні величини навантаження на двигун, ні температури, ні якості мастила і т.д. Нехтування зазначеними параметрами призводить не тільки до зменшення ресурсу двигуна, але і до суттєвого перевищення витрат палива, що власне і погіршує енергетичну ефективність цієї силової установки.

Вирішення зазначеної задачі практично цілком було здійснено за рахунок прямого застосування інформаційно-вимірювальних технологій, які були реалізовані в спеціалізованій інформаційно-вимірювальній системі, що забезпечувала вимірювання поточних значень усіх раніше невраховуваних параметрів, обчислення за допомогою синтезованих і експериментально перевірених математичних моделей оптимальних значень тиску масла в головній масляній магістралі, налаштування регулятора і відповідне управління електричним масляним насосом таким чином, щоб автоматично, в залежності від поточної ситуації, в масляній магістралі підтримувався саме оптимальний тиск.

Експериментальна перевірка практично реалізованої системи підтвердила її функціональність і забезпечила прогнозовану ефективність.

Таким чином у підсумку, можна зробити висновки про те, що лише глибоко інтегровані з мікроконтролерно-комп'ютерними системами інформаційно-вимірювальні технології сьогодні дозволяють комплексно вирішувати актуальні задачі розвитку і вдосконалення військово-технічних систем.

## QUANTUM STANDARD OF TEMPERATURE. PROSPECTS AND PROBLEMS

© Svyatoslav Yatsyshyn, 2022

Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), professor  
of the Department of Information and Measurement Technologies, ivt@lpnu.ua

### Quantum standards of SI units

Quantum standards of the most major SI units have been successfully implemented at the end of the 20<sup>th</sup> century.

At this moment “Temperature” remains the last value among 7 main units of SI that is not regulated at the atomic level.

Current definition of the unit of thermodynamic temperature, kelvin, is based on a material artifact, namely, the triple-point-of-water temperature with its uncertainty  $\sim 0.01$  °C caused by the isotopic composition, impurity of water, microstructure and etc.

Such a state seems to remain unchangeable till the transition to the unit on the basis of fundamental physical constants.

### MAIN GOAL of the WORK

Consists in:

- Proving the possibility of obtaining the Quantum Unit of Temperature.
- Creating the Quantum Unit of Temperature based on the fundamental physical constants and justifying its dimension.
- Metrological assessing the uncertainty of Quantum Unit of Temperature on the basis of its main factors’ uncertainties, received by the particular sets of independent physical methods and given in NIST tables.

Moreover, it lies in:

- Studying the temperature-measuring instrument of a new generation or in researching the possibilities of designing an advanced Temperature Standard on the basis of fundamental physical constants.
- Determining the place of the considered standard in the adopted system of units as well as in the current system of standards.

Currently, the similar standards belong to “intrinsic” standards.

### PRINCIPLES OF TEMPERATURE UNIT STANDARD DEVELOPMENT

- Expanding the set of Quantum Standards of the SI units towards the study of major pillars of the Temperature Standard on the basis of fundamental physical constants, becomes possible as a result of emerged opportunities of unique electronic devices, in particular Resistance Standard (on the basis of Inverse of Conductance Quantum) and Voltage Standard (on the basis of Josephson junctions array) combined in addition with the Cesium Frequency Standard.

### Conclusions

**1. Secondly after Max Planck** (who introduced the Planck temperature, denoted by  $T_P$ , that is the unit of temperature in the system of natural units known as Planck units; it serves as the defining unit of the Planck temperature scale; for example,  $0$  °C =  $273.15$  K =  $1.9279 \times 10^{-30} T_P$ ), **it has been proved the possibility of existence the similar but much smaller the Temperature Unit, caused by single electron-phonon dissipation.**

**2. Similarly to Max Planck**, the considered value is determined by fundamental physical constants (here by the Boltzmann constant and by Planck constant) and is equal to  $3.199\,493\,42 \cdot 10^{-11}$  K with relative standard uncertainty  $59.2 \cdot 10^{-8}$

## КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ КІБЕР-ФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

© <sup>1</sup>Василь Яцук, <sup>2</sup>Юрій Яцук, 2022

Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна),

<sup>1</sup> професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор, vasyi.o.yatsuk@lpnu.ua<sup>2</sup> доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління, yurij.v.yatsuk@lpnu.ua

В сучасних виробничих системах, підприємствах, машинах, випробувальних уставах, рухомих транспортних засобах тощо невід'ємною частиною стають кібер-фізичні системи (КФС). Інформація про велику кількість контрольованих фізичних величин повинна отримуватись і передаватися на верхні ієрархічні рівні із заданими метрологічними параметрами. Невідворотна часова деградація та зміна фізичних параметрів власне КФС в робочих умовах призводить до необхідності їх періодичного метрологічного обслуговування.

Похибки вимірювальних каналів (ВК) таких систем можуть змінюватися як у часі, так і в робочих умовах  $\Delta_x = \Delta_{x0} + \Delta_{xt} + \Delta_{xp}$ , де  $\Delta_{x0} = \Delta_0 + \delta_s X$  – абсолютна похибка ВК на початку  $t_0$  нового міжкалібрувального інтервалу;  $\Delta_{xt} = \Delta_{0t} + \delta_{st} X$  – часовий дрейф абсолютної похибки за час  $t-t_0$ ;  $\Delta_{xp} = \Delta_{0p} + \delta_{sp} X$  – зміна абсолютної похибки ВК в робочих умовах експлуатації.

Просторова розпорошеність КФС практично унеможливує використання традиційних методів для калібрування ВК, які пов'язані з їх демонтажем і перевіркою в спеціальних лабораторіях. Очевидно, що ідеальним рішенням для калібрування ВК було б використання в них калібраторів фізичних величин. Але широка номенклатура вимірюваних величин, їх різноманітна фізична природа та особливості протікання технологічних процесів назагал стримують їх практичне впровадження. Враховуючи сучасну тенденцію до побудови вимірювачів фізичних величин з використанням їх перетворення в електричні сигнали, логічно пропонувати окремо калібрувати сенсори фізичних величин та електричні перетворювальні ланки ВК. Оскільки конструктивно-технологічне виконання, можливості вдосконалення параметрів та калібрування промислових сенсорів залежать від успіхів фундаментальних наук, реалізуються дуже повільно і потребують точного і багатозначного відтворення фізичних величин, то для їх калібрування на сьогодні доцільно використовувати традиційні методи.

Тому авторами пропонується використання калібраторів електричних величин, які на місці експлуатації під'єднуються безпосередньо до входу вимірювального каналу замість сигналів сенсорів. Вихідними сигналами великої кількості промислових сенсорів є зміни е.р.с., напруги постійного струму та електричного опору, тому для калібрування таких ВК доцільно використовувати багатозначні міри напруги постійного струму або електричного опору. Аналіз показав, що в найбільшій мірі щодо діапазонів відтворення, можливостей їх автоматичного перемикавання та метрологічних характеристик цьому відповідають активні міри-імітатори і калібратори. Завдяки успіхам мікроелектронних технологій масогабаритні параметри таких калібраторів можуть бути невеликими, що дає можливість їх практичної реалізації як переносних пристроїв, або вбудовуваних (і знімних) в коло перетворення електричних сигналів ВК. Такі багатозначні міри можуть мати добру короточасову стабільність, бути каліброваними в спеціальних лабораторіях і транспортованими до входу ВК.

В доповіді обговорюються питання калібрування ВК КФС з допомогою таких мір, а також можливості коригування похибок як ВК, так і власне багатозначних кодокерованих мір в робочих умовах експлуатації.

## ПРОГРАМА КОМПЛЕКСНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ЗАКРИТИХ РАДІОНУКЛІДНИХ ДЖЕРЕЛ НА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

© Руслан Берестов<sup>1</sup>, Наталія Гоц<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна),  
аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, [ruslan.v.berestov@lpnu.ua](mailto:ruslan.v.berestov@lpnu.ua)

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна),  
професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор, [nataliia.y.hots@lpnu.ua](mailto:nataliia.y.hots@lpnu.ua)

Проведення випробування закритих джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) на герметичність проводять перед проведенням калібрування закритих ДІВ. Випробування закритих джерел включають такі операції: візуально-оптичне обстеження механічного стану джерела; перевірка герметичності та поверхневого забруднення ДІВ; встановлення відповідності умов використання ДІВ класам міцності зовнішніх факторів впливу, заданих [1].

Візуально-оптичне дослідження проводиться з метою виявлення дефектів в елементах конструкції джерела, здатних впливати на його герметичність (сколи, тріщини, відшарування захисного покриття і т.п.). За результатами обстеження джерело або бракується і вилучається із застосування, або допускається до застосування. Вимірювання поверхневого забруднення може проводитися або прямим (радіометром, дозиметром) або непрямим методом (методом мазка).

Застосування прямого вимірювання відбувається при входному контролі з метою запобігання перевищення контрольних рівнів забруднення пеналів, захисних контейнерів, транспортних засобів, пакувальних ящиків з ДІВ та унеможливлення випадків розповсюдження радіоактивного забруднення.

Застосування методу мазка відбувається для перевірки нефіксованого забруднення кожного ДІВ, яке надається для контролю його технічного стану. Метод мазка – це спосіб вимірювання рівнів забруднення поверхонь шляхом визначення активності, знятої з поверхні джерела, що контролюється, контактним шляхом на сорбент. Як сорбент зазвичай використовують тампони з фільтрувального паперу або з марлі чи вати. В залежності від контрольованої поверхні вибирають матеріал мазка. Бавовняна тканина для шорстких поверхонь, папір для гладких поверхонь. Мазок може бути вологий і сухий.

Випробування методом вологого мазка. Ретельно протирають усі зовнішні поверхні закритого джерела тампоном із фільтрувального паперу або іншого аналогічного матеріалу з високою абсорбуючою здатністю, змоченим у рідині, яка не впливає на матеріал зовнішніх поверхонь джерела і яку, в умовах цього випробування, вважають ефективною для видалення усіх присутніх радіоактивних забруднень. Вимірюють активність тампона.

Випробування методом сухого мазка. Випробування проводять у випадках, коли не можна використати вологий тампон. Якщо виміряна активність не перевищує 0,2 кБк, закриті джерела вважають герметичним.

За позитивних результатів випробування ДІВ оформлюється додаток до паспорта ДІВ з зазначенням терміну експлуатації ДІВ понад призначений строк служби. При негативних результатах випробування ДІВ, надається протокол випробування з висновком про непридатність ДІВ.

Випробування ДІВ на герметичність дозволяють забезпечити безпеку здоров'я персоналу, який працює з ДІВ в промисловості, а також забезпечити продовження строку служби їх роботи.

*1 ISO 2919:2012 Radiological protection – Sealed radioactive sources – General requirements and classification.*

## ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

© Степан Білик<sup>1</sup>, Тетяна Бубела<sup>2</sup>, Юрій Рудик<sup>3</sup> 2022

<sup>1</sup> Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (Львів, Україна), старший викладач кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, bilyks@ldubgd.edu.ua

<sup>2</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор, ivt@lpnu.ua

<sup>3</sup> Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (Львів, Україна), головний науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності, д.т.н., доцент, rudyk@ldubgd.edu.ua

У складних сучасних умовах об'єкти виробничої та природної сфери часто стають вразливими для різних небезпек та ризиків. Для безпеки таких об'єктів створюються технічні системи контролю їхнього поточного стану. З огляду на випадковий характер впливу щодо контрольованого стану та супутнього процесу контролю, результат фіксації небезпечного стану при пороговому випробуванні носить імовірнісний характер. Тому існує проблема визначення необхідних показників якості до таких систем контролю стану об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) з урахуванням ризиків [1]. В Україні наявна велика кількість документів, які регламентують вимоги до об'ємно-планувальних рішень ОКІ, систем протипожежного захисту, планів евакуації, засобів пожежогасіння тощо. Однак, не існує єдиного документу, у якому викладено перелік вимог техногенної та пожежної безпеки до суб'єктів господарювання, які провадять господарську діяльність в ОКІ. В окремих актах ЄС визначено оцінку відповідності (сертифікацію) будівель і споруд та енергоспоживчих технічних систем вимогам щодо енергоефективності, яка є однією з основних вимог до будівель і споруд, та істотні вимоги до інфраструктури залізничного транспорту, канатних доріг для перевезення пасажирів та технічних систем цивільного і протипожежного захисту цих об'єктів. Також актами ЄС не передбачено сертифікацію органами державного контролю й нагляду енергоефективності будівель і споруд та безпечності залізничних тунелів, що належать до споруд цивільного будівництва зі значними наслідками.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Показники та критерії якості для вибору порогового рівня безпеки при різних впливах мають велике значення [1-3]. Загалом, пропонується критерій зваженої суми ймовірностей помилок першого та другого роду, але обґрунтування показників та критеріїв якості також відсутнє [4]. Для оптимізаційних критеріїв у системі контролю небезпечних станів ОКІ можна використовувати мінімум середнього ризику, ідеального спостерігача та Неймана-Пірсона. У [5] отримано співвідношення, що пов'язують головні показники якості для систем контролю об'єктів критичної інфраструктури та показники прийнятного ризику виявлення небезпечних станів. У практиці захисту критичної інфраструктури виникають труднощі щодо визначення показників якості до технічних систем контролю небезпечних станів об'єктів з урахуванням ризиків, бо забезпечити нульовий ризик для реальних об'єктів неможливо. Тож у цій сфері обґрунтована концепція прийнятного (допустимого) ризику [6]. При цьому використання цієї концепції для технічних систем контролю стану об'єктів критичної інфраструктури має свої особливості. У зв'язку з цим актуальним є обґрунтування показників та критеріїв якості, що висувуються до технічних систем контролю об'єктів критичної інфраструктури.

Аналіз підходів, що наведені в публікаціях [7, 8], дозволяє виділити ряд недоліків, серед яких слід зазначити наступні:

- недостатня кількість показників для об'єктивної оцінки загроз;
- відсутність можливості врахування інформативності критеріїв;
- суб'єктивність при оцінці можливості зменшення загроз;
- відсутність зваженого врахування складових критеріїв у комплексному критерії оцінки загроз.



Залежно від завдання значення ризику встановлюється через математичне очікування шкоди чи значення ймовірності настання несприятливої події протягом року, тоді розмірність визначається у вигляді збитків/рік або через ймовірність настання несприятливої події – у вигляді 1/рік [9]. З аналізу даних, наведених у [3], випливає, що в умовах невизначеності контролю небезпечних станів об'єкта до головних показників якості технічних систем повинні бути досить жорсткі вимоги. Для забезпечення цих вимог може знадобитися значний ресурс. У роботі [6] розвивається системний підхід до оцінки ризику на основі визначення енергетичних характеристик факторів безпеки. З огляду на це представляється цікавою оцінка необхідних енергетичних співвідношень між рівнями контрольованих станів безпеки та супутнім тлом. Ці дані необхідні визначення реалізаційних можливостей вимог до якості технічних систем контролю небезпечних станів об'єктів критичної інфраструктури.

Показники  $p_a$  та  $p_b$  залежать від статистики спостережень контролю, що враховує наявність та відсутність небезпечного стану об'єкта у суміші з фоновими спостереженнями. При параметричній статистиці безумовна статистика спостережень перебуває в основі інтегрування відповідних умовних статистик за вказаними параметрами [7].

У працях [4, 7] розглядаються необхідні показники якості технічних систем контролю небезпечних станів відповідно до концепції допустимого рівня ризику забезпечуються лише для досить високого співвідношення енергії контрольованого стану до спектральної густини базового рівня. Так, наприклад, для виявлення небезпечного стану об'єктів технічної сфери з параметрами якості  $p=10^{-3}$  і  $p=10^{-7}$  з допустимого рівня безпеки необхідна величина відношення  $q=3,222 \cdot 10^{-4}$ . Це означає, що контроль небезпечного стану об'єкта на основі енергетичного показника практично повинен проводитись за умов відсутності фону [6]. В іншому випадку забезпечення необхідних показників якості стає досить проблематичним.

Специфіка захисту людей від наслідків надзвичайних ситуацій полягає в тому, що, на відміну від забезпечення ОКІ, безпека людей повинна гарантуватися у всіх випадках і незалежно від економічних витрат. Вона досягається конструктивними і об'ємно-планувальними рішеннями [9], спрямованими на ізоляцію джерел безпеки і створення умов для вільного руху людей при евакуації, обмеженням застосування небезпечних матеріалів.

Для нескінченного набору властивостей елементів, яким володіє реальний ОКІ, існує також нескінченна множина варіантів вибору обмежених кластерів. Отже, якщо множина ознак, якими описуються елементи ОКІ, є системою опису, а множина значень кожної з ознак, що враховують, на конкретних об'єктах – описом цих складних систем, то аналогічній моделі ОКІ (зокрема, системи-кластеризації) – це системи множин, кожна з яких є описом. Звідси можна зробити висновок, що система-модель, формалізована методами кластерного аналізу, має меншу кількість елементів і зв'язків, ніж складна система-оригінал, але всі елементи та зв'язки, які є у моделі, правильно копіюють прототип [3, 10].

Для оцінювання безпеки необхідно визначити: перелік тих властивостей, сукупність яких достатньо її характеризує; числові значення шляхом вимірювання, випробування та підрахунку; аналітичний висновок з порівняння цих даних та прийнятним рівнем (допустимим рівнем, ГДК, часом спрацювання захисту та ін.). Одержаний результат буде з достатнім ступенем достовірності характеризувати безпеку ОКІ. Разом з тим, одержаний результат оцінювання стає основою подальших досліджень. Оцінка безпеки – це відповідь на питання, наскільки повномасштабний результат оцінювання безпеки ОКІ відповідає інтересам населення дотичної території.

Оскільки оцінка дає найбільш закінчену та важливу інформацію про властивість взагалі і якість зокрема [12], то найчастіше кінцевим результатом кваліметричних розрахунків є не абсолютний показник  $Q_{ij}$ , а відносний – оцінка  $K_{ij}$ . Оцінка  $K_{ij}$  являє собою функцію двох абсолютних показників – вимірюваного (оцінюваного)  $Q_{ij}$  та прийнятого за базовий  $Q_{ij}^{баз}$ .

Важливим аспектом методів перевірки є їх власна валідність. Існує небезпека того, що із збільшенням шарів формалізації ми стаємо менше, ніж більше, здатні розвивати своє судження про те, що є хорошим та поганим в аналізі ризику. Процедурні підходи можуть бути корисними, але неадекватні або недоречні процедури можуть посилити проблему, а не

полегшити її. Враховуючи відносно невелику увагу до валідності та валідації, не дивно, що було проведено ще менше досліджень щодо валідності методів валідації [11].

Ризик складається з двох різних складових – небезпеки та вразливості. Процес, представлений [13], вказує на те, що шляхом визначення передбачуваного використання та зловживання може бути досягнута ідентифікація небезпеки, яка потім може призвести до оцінки ризику. Інший ключовий компонент – оцінка вразливості був опущений, що було запропоновано відобразити у структурі оцінювання.

Висновок. У стратегії ISO 2021-2030 вказано, що міжнародні стандарти, у більшості малопомітні в щоденному житті, є найважливіший компонент, який робить речі безпечнішими та кращими. Досягнувши цього, можна сприяти покращенню якості щоденного життя людей у всьому світі. Щоб визначити небезпеки, оцінювання ризику проводиться з використанням низки методів, зокрема,

Обґрунтовано вдосконалення математичної багатокритеріальної моделі оцінки безпеки ОКІ у вигляді цільової функції, яка заснована на залежності комплексного безпекового показника якості від значень окремих характеристик стану безпеки об'єкта щодо ризику.

1. Prochazkova D., Prochazka J. *Affiliation of Optimum Risk Engineering Tools to Technical Facility Management Main Targets Achievement International Journal of Economics and Management Systems Volume 5, 2020. 233-244. URL: <http://www.ias.org/ias/journals/ijems>.*

2. Aven T. *Risk, surprises and black swans. New York: Routledge, 2014.*

3. Оцінювання безпеки складних організаційно-технічних систем кваліметричними методами з урахуванням ризиків. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.02 Рудик Ю.І. НУЛП. Львів, 2021.

4. Поспелов Б.Б., Басманов А.С. Структурний метод підвищення надійності датчиків первинної інформації у системі ослаблення наслідків надзвичайної ситуації / Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2011. – Вип. 14. – С. 129-134.

5. Поспелов Б.Б., Чумаченко С.М., Уряднікова І.В., Облік прийнятного ризику при обґрунтуванні вимог до систем контролю стану об'єктів критичної інфраструктури. Праці міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми моделювання ризиків і загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури» [Електронний ресурс] К.: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, 2015. С.129-145.

6. Калугін В.Д., Тютюник В.В., Черногор Л.Ф., Шевченко Р.І. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні, Східноєвропейський журнал передових технологій, Харків, 2012, 1/6 (55), – С. 59-70.

7. Aven T. How to define and interpret a probability in a risk and safety setting. *Safety Sci* 2013; 51: 223–231.

8. Bondarenko I. V., Kutnyashenko O. I., Rudyk Yu. I., Solyonyj S. V. *Modeling the efficiency of waste management. News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. 2019. Vol. 2, № 434. P. 120–130.*

9. Menshykova O., Rak T., Rudyk Yu. *Expanding of compliance assessment for preventive measures of fire safety as a local facilities with high risk level in Ukraine. Przedsiębiorczość i Zarządzanie. 2018. T. 19, z. 1, cz. 3. S. 181–194.*

10. Рудик Ю., Куць В. Ризики енергетичної безпеки в умовах впровадження в Україні оцінювання відповідності. *Współczesne problemy bezpieczeństwa państwa : księga pamiątkowa ku czci Tomasza Jana Biedronia / red. Olga Wasiuta, Przemysław Mazur. Stalowa Wola, 2017. S. 313–335.*

11. Goerlandt F., Khakzad N., Reniers G. *Validity and validation of safety-related quantitative risk analysis: A review, Safety Science, V. 99, Part B, 2017, P.127-139.*

12. Cafiso S. D'Agostino C. *A stochastic approach to the benefit cost ratio analysis of safety treatments. Case Studies on Transport Policy. 2018. DOI:8. 10.1016/j.cstp.2018.07.006.*

13. Bondarenko I. V., Anischenko L. Ya., Rudyk Yu. I. *Substantiation for enhancement of environmental safety of waste management systems through forecasting efficiency of specialized equipment. Вісник ЛДУБЖД. 2017. 16. С. 119–128.*

## МАЛОАПЕРТУРНІ МАГНІОСТРИКЦІЙНІ ВИПРОМІНЮВАЧІ ПІДВИЩЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ

© Ігор Богачев, 2022

Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), старший науковий співробітник відділу моніторингу і діагностики об'єктів енергетики, к.т.н., старший дослідник, biv\_vdoe@ukr.net

Малоапертурні сенсори збуджують у зразку, що контролюється, ультразвукові (УЗ) поздовжні хвилі у формі півсфери (ненаправлені) та поверхневі хвилі (хвилі Релея) у формі кола [1]. Внаслідок збудження ненаправлених УЗ хвиль енергія останніх різко зменшується зі збільшенням відстані між випромінюючим і приймаючим перетворювачами, тобто зі збільшенням зони контролю. У зв'язку з цим необхідно забезпечити високу потужність випромінюючого магніострикційного перетворювача (МСП) і високу чутливість приймаючих перетворювачів. Ця робота присвячена вирішенню питання підвищення потужності випромінюючих МСП.

Основні параметри і характеристики МСП істотно залежать від конструкції самого перетворювача, точності виготовлення його елементів і частин, а також від вибору та технологічних процесів обробки матеріалів, з яких виробляється перетворювач [2].

Хвилевід є одним з найважливіших елементів МСП. З доступних та відносно дешевих матеріалів при виготовленні перетворювачів було використано залізо-кобальтовий сплав пермендюр у вигляді дроту циліндричного профілю діаметром від 0,3 до 1,0 мм, що підвищило чутливість МСП на порядок у порівнянні з традиційним нікелевим дротом.

Підвищення потужності випромінювання за рахунок збільшення електричного сигналу, що подається на МСП, обмежене магніострикцією насичення матеріалу, з якого виготовлений хвилевід.

Однак потужність можна значно підвищити іншими шляхами:

- 1) використовуючи багатосекційні котушки збудження;
- 2) розташовуючи в корпусі перетворювача пасивні узгоджувальні пристрої;
- 3) розташовуючи на одному хвилеводі декількох багатосекційних котушок збудження.

В першому випадку доцільно робити парну кількість секцій, розташованих на відстані, що дорівнює половині довжини хвилі у хвилеводі. Якщо кількість секцій дорівнює  $n$ , то амплітуда сигналу збільшується в  $n$  разів, а потужність в  $n^2$  разів. При цьому тривалість імпульсу збільшується на  $n$  півперіодів, що призводить до зменшення розрізнявальної здатності системи.

В другому випадку розташовуючи в корпусі перетворювача узгоджувальний трансформатор [3], можна значно зменшити втрати електричного сигналу, що подається на випромінювач, та за рахунок цього підвищити потужність випромінювача.

В третьому випадку розташування декількох котушок збудження на одному хвилеводі потребує використання відповідної кількості формувачей однакових сигналів з відповідною затримкою між собою на час проходження УЗ сигналу у хвилеводі між сусідніми котушками.

При використанні всіх вище описаних методів підвищення потужності випромінювання за розрахунками можливо досягти майже межі пружних коливань у хвилеводі.

1. *Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник / В.К. Цапенко, Ю.В. Куц – К.: НТУУ «КПІ». – 2010. – 448 с.*

2. *Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Березун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / – К., 2015. – 512 с.*

3. *Патент України № 115699. Малоапертурний магніострикційний сенсор / В.П. Бабак, І.В. Богачев, Л.В. Мелещенко; заявник і власник патенту ІТТФ НАН України. – опубл. 11.12.2017. – Бюл. №23.*

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ З МАЛОАПЕРТУРНИМИ МАГНІОСТРИКЦІЙНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

© Ігор Богачев<sup>1</sup>, Юрій Куц<sup>2</sup>, Владислав Хайдуров<sup>1</sup>, 2022

<sup>1</sup> Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), старший науковий співробітник відділу моніторингу і діагностики об'єктів енергетики, к.т.н., старший дослідник, [biv\\_vdoe@ukr.net](mailto:biv_vdoe@ukr.net)

<sup>2</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю, д.т.н., професор, [y.kuts@ukr.net](mailto:y.kuts@ukr.net)

Робота присвячена дослідженню і застосуванню малоапертурних магніострикційних перетворювачів (МСП) в якості сенсорів і випромінювачів пружних коливань в системах ультразвукового контролю, призначених для виявлення поверхневих тріщин та інших дефектів у виробах зі складною геометрією поверхні.

Дослідження, в яких використовується поширення ультразвукових (УЗ) хвиль в твердих тілах знаходять широке застосування у неруйнівному контролі (НК) матеріалів та виробів. Висока чутливість ультразвукових методів НК до наявних механічних неоднорідностей середовища дає змогу виявляти дефекти та визначати їх характер в матеріалах, «непрозорих» для дослідженні іншими методами.

Малоапертурні МСП збуджують в об'єкті контролю (ОК) поздовжні та поверхневі хвилі (хвилі Релея). Зі збільшенням глибини проникнення їх інтенсивність різко зменшується [1]. Ця особливість дає змогу ефективно використовувати їх для виявлення поверхневих дефектів. Поздовжні хвилі доцільно використовувати для пошуку дефектів в товщі ОК.

Найбільш ефективними малоапертурними МСП є одношарові котушки збудження, розташовані на магніострикційному стрижні [2]. Внаслідок того, що котушка збудження на металевому стрижні є електромагнітною антеною, вона приймає різноманітні сигнали завад, які спотворюють корисний сигнал МСП. Якщо виконати котушки збудження двосекційними, їх секції намотати в протилежних напрямках і розташувати на відстані половини довжини ультразвукової хвилі в стрижні, то спотворення корисного сигналу електромагнітними завадами значно зменшується. В цьому випадку радіоімпульсний електричний сигнал на котушці приймаючого МСП подовжується в часі на півперіод, а амплітуда сигналу з другого по передостанній півперіоду набуває подвійного значення [3].

Незважаючи на конструкторсько-технологічні методи збільшення відношення сигнал/завада, на практиці це відношення близьке до одиниці та навіть менше. Це обумовлює необхідність використання статистичних методів оброблення прийнятих сигналів.

*Мета* роботи полягає у експериментальному дослідженні процесу ультразвукової дефектоскопії виробів системами з малоапертурними МСП та ефективності застосування статистичних методів виявлення сигналів від дефектів в таких система.

Розроблена система ультразвукового контролю з малоапертурними МСП містить блок випромінювання (БВ), що формує радіоімпульсні сигнали, випромінюючий магніострикційний перетворювач, блок приймаючих перетворювачів, що являє собою антенну ґратку малоапертурних МСП, вимірювальний блок, в склад якого входить швидкісний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та персональний комп'ютер ПК). БВ формує радіоімпульсні сигнали з частотою сигналу-носія 0,1...10,0 МГц та тривалістю 1...10 періодів. Його вихідний електричний імпеданс складає менше 0,2 Ом, що необхідно для роботи з МСП. Коефіцієнт підсилення підсилювача не менше 5000. В якості швидкісного АЦП використано USB осцилограф INSTRUSTAR ISDS220B. В ПК обчислюється амплітуда і фазовий зсув прийнятих УЗ сигналів відносно фази сигналу-носія для кожного каналу з МСП. Ці значення використовуються для побудови зображення форми прийнятої УЗ хвилі чи форми неоднорідності, від якої відбилась хвиля, та для прийняття діагностичних рішень.

Досліджено два способи статистичного опрацювання даних. Перший полягав у статистичному згладжуванні даних шляхом усереднення. З цією метою отримувався масив реалізацій сигналів і виконувалось поелементне усереднення всіх варіант вибірки для кожного МСП. При усередненні масивів по восьми вибіркам відношення сигнал/завада збільшувалось майже у три рази. Цей метод виявився ефективним, якщо відношення сигнал/завада по вхідному сигналу не менше трьох.

За більш низьких відношень сигнал/завада ефективнішим виявився статистичний фазовий метод виявлення сигналів, який ґрунтується на відомій у статистичному аналізі кругових даних статистиці – результуючій довжині вектора (або круговій дисперсії). Її використання розглянуто в [4] для вихрострумової дефектоскопії. Метод ґрунтується на аналізі статистики

$$R[j] = \prod_{s=1}^S r[j, M_s], \quad j \in [0, J], \quad (1)$$

де  $r[j, M_s] \in [0, 1]$  – вибірка значень результуючої довжини вектора, отримана за віконної функції з апертурою  $M_s$ ,  $S$  – кількість вікон,  $J$  – обсяг вибірки. Ця статистика обрана тому, що вона, по-перше, є інваріантною до початкової фази сигналу, по-друге, областю її значень є інтервал  $(0, 1]$ , що зручно для подальшого аналізу. Рішення про наявність сигналу від дефекту приймається за виконання умови  $R[j] > \Pi$  ( $\Pi < 1$  – обраний поріг).

Поточні значення  $r[j, M_s]$  обчислюються в ковзному режимі, під час руху прямокутного вікна відносно вибірки миттєвих значень різниці фаз  $\Phi[j]$  прийнятого сигналу і сигналу-носія (вважається, що  $M$  – парне число)

$$r[j, M] = \frac{1}{M} \sqrt{\left( \sum_{k=j-M/2}^{j+M/2} \cos \varphi[k] \right)^2 + \left( \sum_{k=j-M/2}^{j+M/2} \sin \varphi[k] \right)^2}, \quad j \in \left[ \frac{M}{2}, J - \frac{M}{2} + 1 \right], \quad (2)$$

Миттєві значення  $\varphi[j]$  обчислюються за допомогою застосування до аналізованих сигналів дискретного перетворення Гільберта.

Цей метод виявився більш ефективним для виявлення сигналів за відношення сигнал/завада одиниця і менше. Покращення цього відношення залежить від кількості вибірок на період сигналу-носія та апертур віконної функції.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що за відношення сигнал/завада більше 3 для виявлення і аналізу сигналів МСП більш ефективним є метод статистичного згладжування, що ґрунтується на усередненні серії вибірок сигналів. За меншого значення сигнал/завада більш ефективним є статистичний фазовий метод виявлення сигналів, що ґрунтується на визначенні кругової статистики – результуючої довжини вектора.

1. *Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник / В.К. Цапенко, Ю.В. Куц – К.: НТУУ «КПІ». – 2010. – 448 с.*

2. *Патент України № 104567. Ультразвуковий малоапертурний магнітострикційний перетворювач / В. П. Бабак, І. В. Богачев; заявник і власник патенту ІТТФ НАН України. – №а201306020; заявл. 15.05.2013; опубл. 10.02.2014. – Бюл. №3.*

3. *Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Березун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / – К., 2015. – 512 с.*

4. *Редька М.О. Перспективи застосування фазових характеристик сигналу в автоматизованій вихрострумовій дефектоскопії / Редька М.О., Куц Ю.В., Шаповалов Є.В., та ін. // Технічна діагностика та неруйнівний контроль. – 2022. – №1. – С.45-53.*

## СИСТЕМА ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ З РЕКРЕАЦІЇ І ТУРИЗМУ В ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІЙ ГЕОСИСТЕМІ

© Тарас Бойко<sup>1</sup>, Марія Руда<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри інтелектуальної мехатроніки та роботики, д.т.н., професор, taras.h.boiko@lpnu.ua

<sup>2</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), доцент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, к.т.н., mariia.v.ruda@lpnu.ua

**1. Вступ.** Запропоновано концепцію кваліметричного оцінки культурних екосистемних послуг для рекреації та туризму просторово-часової геосистеми, на прикладі Карпатських гірських лісів, яка дасть змогу визначати існуючий і прогнозувати майбутній стан забезпечення вимог споживачів (ВС) вказаними послугами. Екосистемні послуги (ЕП) – це корисні ресурси та вигоди, які людина може отримати від природи. Від ЕП залежить задоволення фундаментальних потреб людини в середовищі її існування, а отже від них залежить і рівень нашого життя. Таке трактування визнають науковці і політики більшості держав світу. У документі ООН [1] ЕП однозначно називають «прямим і непрямим внеском екосистем у добробут людини». Сучасне суспільство називають суспільством споживання, для якого характерною є вартісна оцінка будь яких матеріальних благ. Тому, очевидним є прагнення дати вартісну оцінку ЕП. В роботі представлено комплексне формування показників для кваліметричного оцінювання ЕП [2], які надають різні постачальники, і які, зазвичай, виражені характеристиками, що не мають кількісного представлення.

**2. Результати досліджень.** Відомо, що людські побажання, оцінка важливості, істотність зв'язків між різними вимогами, наприклад, між вимогами споживача і технічними характеристиками послуги здебільшого виражають висловлюваннями, яким властива невизначеність. Подолати таку невизначеність можна поєднавши експертне оцінювання з відомим методом розгортання функцій якості (англ. Quality Function Deployment – QFD) [3]. Реалізація методу QFD містить кілька типових кроків, зокрема, першим виконують ідентифікацію ВС. На цьому етапі відбувається визначення потреб споживача через висловлювання їх очікувань і пріоритетів. Здебільшого це очікувані переваги в об'єкті, продукті або послугі, виражені власними словами споживача. Далі ВС намагаються конкретизувати у вигляді впорядкованої сукупності і представити характеристиками, що враховують сприйняття споживача – характеристиками за вимогами споживача (BCX). Це залежить від досвіду членів експертної команди. Таблицю заповнюють за допомогою даних отриманих з анкет, інтерв'ю або опитування цільових груп. Їх представляють величинами, які не потребують опису кількісними значеннями, а лише вербальними формулюваннями.

Так, за оцінками експертів визначено перелік з дев'яти характеристик, які найбільш повно відображають ВС до якісних властивостей культурних ЕП ПЧГ(таблиця 1).

Наступним, кроком є процес визначення технічних вимог до ЕП. Часто їх називають вимірюваними оскільки до технічних характеристик (ТХ) ставлять вимогу, щоб їх можна було визначити об'єктивним шляхом. Для оцінювання культурних ЕП частина ТХ може бути подана фізичними або іншими вимірюваними величинами, а частина, як показує практика – істотно більша – це величини виражені лінгвістичними змінними. Очевидно, що для їх подання кількісними значеннями доцільно застосувати нечітку логіку (англ. Fuzzy Logic).

Номенклатуру ТХ визначала багатопрофільна команда експертів, які досконало орієнтуються як в специфіці об'єкту, продукту чи послуги, так і в методах і способах нормування і визначення ТХ. Під час формування їх переліку кожен експерт визначає, які є якісні і кількісні фактори, що характеризують здатність ПЧГ належно надавати необхідні ЕП, і які можуть бути використані для його оцінювання. Отримані ТХ подано в таблиці 2.

**ВС та ВСХ до культурних ЕП на прикладі Карпатських гірських лісів**

| № | Найменування ВС                     | Найменування ВСХ  |
|---|-------------------------------------|---|
| 1 | Комфортний клімат                   | Близькість фізико-географічних характеристик території до комфортних          |
| 2 | Доступ до цікавих об'єктів          | Рівень доступності до природного та історико-культурного потенціалу території |
| 3 | Сприятливе географічне розташування | Рівень затрат на доступ до послуги  |
| 4 | Відсутність бруду і сміття          | Ступінь забруднення компонентів довкілля                                      |
| 5 | Красиві і різноманітні пейзажі      | Ступінь атрактивності пейзажів  |
| 6 | Привабливість культурних об'єктів   | Рівень естетичних властивостей об'єктів                                       |
| 7 | Унікальність культурних об'єктів    | Наявність об'єктів світового значення, занесених в охоронні списки            |
| 8 | Безпечне місцеперебування           | Рівень рекреаційного освоєння території                                       |
| 9 | Умови для активного туризму         | Ступінь забезпечення фауністичними та флористичними ресурсами                 |

Таблиця 2

**ТХ культурних ЕП просторово-часової геосистеми**

| № | Найменування ТХ   |
|---|---|
| 1 | Атрактивність культурних ЕП (якісна характеристика)                               |
| 2 | Контрастність території ПЧГ (якісна характеристика)                               |
| 3 | Кількість культурних об'єктів (кількісна характеристика)                          |
| 4 | Оригінальність (неповторність) об'єктів (якісна характеристика)                   |
| 5 | Різнманітність природних рекреаційних ресурсів (якісна характеристика)            |
| 6 | Використання традицій і туристично-рекреаційного спадку регіону ПЧГ (якісна хар.) |
| 7 | Наявність об'єктів природо-заповідного фонду (якісна характеристика)              |
| 8 | Компартментальна мозаїчність фітоценозу на території ПЧГ (якісна характеристика)  |

**3. Висновки.** Отримано систему показників, які, з одного боку, характеризують вимоги споживачів до культурних ЕП, а з іншого вимоги, які характеризують екологічні послуги ПЧГ, що надаватиме такі послуги. Наступним кроком під час реалізації QFD, може бути визначення кореляційних зв'язки між ВСХ та ТХ, на основі яких отримують вагові коефіцієнти для кваліметричного оцінювання ЕП ПЧГ і саму кваліметричну оцінку.

1. *Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington, DC: Island Press.*

2. *Бойко Т.Г. Формування теоретичних та нормативно-технічних засад оцінювання якісного рівня продукції: автореф. дис. док-ра. техн. наук: 05.01.02 / Т.Г. Бойко; [Національний університет "Львівська політехніка"]. – Львів, 2010. – 34 с.*

3. *Салливан Л.П. Структурирование функции качества / Л.П. Салливан // Курс на качество. – 1992. – № 3, 4. – С. 156-177.*

## ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ДІАГНОСТИЦІ ПАТОЛОГІЙ ЩИТОВИДНОЇ ЗАЛОЗИ

©, Оксана Бойко<sup>1</sup>, Андрій Фечан<sup>2</sup>, Олеся Чабан<sup>3</sup>, Катерина Ільканич<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, (Львів, Україна), зав.кафедри медичної інформатики, д.т.н., професор, oхана\_bojko@ukr.net

<sup>2</sup> Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, (Львів, Україна), професор кафедри медичної інформатики, т.н., професор, afechan@gmail.com

<sup>3</sup> Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, (Львів, Україна), доцент кафедри медичної інформатики, к.т.н., доцент, chaban.olesia@gmail.com

<sup>4</sup> Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, (Львів, Україна), доцент кафедри медичної інформатики, к.т.н., доцент, ilkanych.katja@gmail.com

Без застосування сучасних інформаційних технологій (ІТ) сьогодні практично не можливо уявити жодну сферу людської діяльності. Медицина безумовно не є виключенням. Перспективним напрямком застосування ІТ в медицині є штучний інтелект, який може допомогти лікарям-діагностам, шляхом аналізу медичних зображень, підвищити ефективність, швидкість, точність процесу постановки діагнозу[1]. У роботі розглянуто перспективи та проблеми на шляху застосування штучного інтелекту в діагностиці патологій щитовидної залози людини.

Вузлові утворення щитовидної залози (ЩЗ) є однією з найбільш розповсюджених патологій серед ендокринних захворювань, які зустрічаються у 30-40% населення. Основним методом діагностики патологій щитовидної залози на сьогодні є ультразвуграфічне (УСГ) обстеження та тонкоігловка аспіраційна біопсія (ТАБ). Близько 4% від загального числа виявлених таким чином патологій мають злоякісну природу [2]. Однак, не завжди, запідозрений при УСГ обстеженні з використанням класифікації TI-RADS, високий рівень злоякісності знаходить підтвердження при гістологічній верифікації. Тому необхідним є пошук нових комбінацій ультразвукових ознак для точнішої класифікації вузлів щитовидної залози та визначення підстав для проведення біопсії.

Основною проблемою на шляху побудови моделі штучного інтелекту для класифікації вузлів щитовидної залози є відсутність достатньої кількості даних. На сьогодні проведено ретроспективне дослідження результатів обстеження лише 420 пацієнтів, яким була проведена ТАБ вузлових утворень ЩЗ.

З метою вирішення цієї проблеми та досягнення максимальної точності, було створено спеціальний сервіс, що дозволить спеціалістам вносити результати УЗД досліджень щитовидної залози та ТАБ, а також завантажувати ультразвукові зображення (рис.1). З метою підвищення точності внесених даних доступ до бази даних надається лише після реєстрації та підтвердження відповідної кваліфікації. Контроль за відбором, походженням та достовірністю результатів здійснюється висококваліфікованими спеціалістами медиками.

База даних організована таким чином, щоб забезпечити зручне введення даних медичними працівниками, а також опрацювання отриманих даних з використанням багатфакторного регресійного аналізу та нейронних мереж. З метою спрощення та пришвидшення процесу введення даних, у майбутньому планується автоматизація вилучення основних показників на основі введеного зображення.

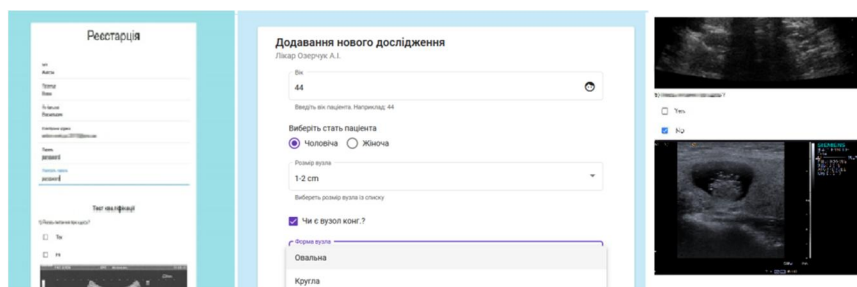


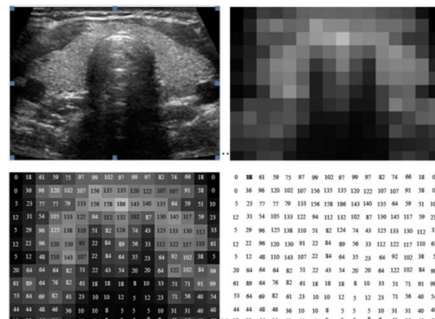
Рис.1 База даних для збору даних про результати УЗД досліджень щитовидної залози та ТАБ



Розроблено структуру системи прийняття рішень для класифікації вузлів щитовидної залози на основі багатofакторного регресійного аналізу та нейронних мереж.

Перспективним є використання нейронної мережі, що базується на архітектурі CNN (Convolutional Neural Networks)[3], яка дозволить повністю виключити людський фактор з процесу графічного аналізу ультразвукового знімка. Чорно-білі ультразвукові зображення представлятимемо як двовимірний масив чисел, при цьому кожен піксель перетворюється на число від 0 до 255, де 0 – чорний, а 255 – білий.

Рис.2. Представлення зображення числовими даними



Для забезпечення максимальної достовірності роботи нейронної мережі оптимальним є використання не лише графічних результатів УЗД але і чисельних значень попередньої обробки зображень, виконаних кваліфікованими медичними спеціалістами.

1. Yu K. H., Beam A. L., Kohane I. S. *Artificial intelligence in healthcare*. Nature biomedical engineering, 2018. Vol.2(10). P.719-731.

2. Kucher A., Boyko O., Ilkanych K., Fechan A., Shakhovska N. *Retrospective Analysis by Multifactor Regression in the Evaluation of the Results of Fine-needle Aspiration Biopsy of Thyroid Nodules*. CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2753. P. 443–447.

3. Khan A., Sohail A., Zahoora U., Qureshi A. S. *A survey of the recent architectures of deep convolutional neural networks*, Artificial Intelligence Review. 2020. Vol.53(8). P.5455-5516.

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ СВІЖОСТІ М'ЯСА ЗА ДОПОМОГОЮ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

© Тетяна Бубела<sup>1</sup>, Богдан Богуш<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна), д.т.н., професор, tetiana.z.bubela@lpnu.ua ,

<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна), аспірант, bohdan.o.bohush@lpnu.ua

В умовах ринкової економіки особливо важливим є випуск і забезпечення населення конкурентоспроможною харчовою продукцією, де м'ясні вироби займають вагомую частку. Рівень свіжості м'яса є одним із факторів, що визначає його якість. Сьогодні традиційні способи визначення рівня свіжості м'яса все ще широко використовуються. Серед них варто виокремити органолептичні, мікроскопічні та хімічні методи, які є часо- та трудомісткими [1, 2]. Останнім часом стали активно розвиватись електричні та оптичні методи контролю свіжості м'яса, які теж мають недоліки, пов'язані зі складністю встановлення залежності між фізико-хімічними та електричними і оптичними характеристиками [3, 4]. Тому потрібна система, котра здатна швидко і об'єктивно визначити рівень свіжості м'яса. Для побудови такої системи пропонується використати електронний ніс (газові сенсори), сенсори кольору, та термокамеру, як зір. Електронний ніс – це штучна модель нюху або пристрій, що імітує роботу органів нюху людей – тобто, він не поділяє окремі компоненти, що створюють запах, а реагує на їх сукупність в цілому. На основі аналізу встановлено, що для електронних носів найчастіше використовують: метало-оксидні напівпровідники, електропровідні полімери, полімерні композиційні матеріали, кварцові мікроваги, поверхневі акустичні хвилі. Метало-оксидні напівпровідники – транзистори, які підсилюють або подають / не подають електронні сигнали. Вони працюють за рахунок того, що молекули, які потрапляють в сенсор, можуть мати або позитивний, або негативний заряди, і це прямо впливає на електричне поле всередині сенсора. Попадання в детектор ззовні кожної додаткової електрично зарядженої частинки по різному впливає на транзистор, і змінює його сигнал так, що останній може бути оброблений комп'ютером для розпізнавання впливу. Електропровідні полімери – органічні полімери, які можуть пропускати електричний струм. Полімерні композиційні матеріали схожі на електропровідні полімери, але виготовляються з не електропровідних полімерів з додаванням електропровідних матеріалів (наприклад – сажі). Кварцові мікроваги – вимірюють поверхневу масу (маса на одиницю площі) за рахунок вимірювання частоти (коливань) кварцового кристалічного резонатора. Поверхневі акустичні хвилі (SAW) – клас мікроелектромеханічних систем (MEMS), що використовують модуляцію поверхневих акустичних хвиль для реагування на зовнішній фізичний вплив.

Система електронний ніс на одноплатному комп'ютері покаже свою успішність у ідентифікації перевіреного м'яса. Матриця напівпровідникових газових сенсорів TGS2602, MQ137 і MQ138 як сенсор нюху та TCS3200 як RGB-сенсор зору може ідентифікувати запах і колір різної свіжості м'яса. Метод базової лінії може бути використаний для отримання чітких вихідних відмінностей, створених газовими сенсорами, що реагують на рівень свіжості м'яса. Отже, пропонується система, доповнена можливостями нейронної мережі, замінить традиційні пристрої ідентифікації свіжості м'яса.

1. ДСТУ 4823.2:2007 *Продукти м'ясні. Органолептичне оцінювання показників якості.*

2. ДСТУ 8381:2015 *М'ясо та м'ясні продукти. Організація та методи мікробіологічних досліджень.*

3. Патент № 71214. *Спосіб визначення свіжості м'яса. Походило Є., Столярчук П., Процай О., 2012.*

4. *Дослідження оптичних властивостей м'яса з метою реалізації оперативного візуального методу його контролю / О.С. Любчик, М.М. Микійчук, Т.З. Бубела // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2017. – № 1.*

## КОНСТРУЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРО- ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

© Валентина Василевська, 2022

Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна),  
науковий співробітник відділу моніторингу і діагностики об'єктів енергетики, valyavasilevska@ukr.net

Виведення з ладу енергетичних систем та їх елементів керування призводить до значних економічних втрат і може бути небезпечним для життя та здоров'я людей. Для своєчасного виявлення дефектів, оцінки технічного стану та прогнозування ресурсу роботи таких систем необхідно використовувати адаптивні ефективні діагностичні системи для прогнозування залишкового ресурсу об'єктів енергетики загалом.

Нині теоретичні основи оцінки технічного стану приводів є недостатньо ефективними через складність відтворення реальних фізичних процесів, що протікають у таких системах, складність математичної формалізації опису цих процесів і дефектів з обмеженою кількістю вимірюваних діагностичних параметрів. Тому системно вирішувати проблеми діагностики та оцінки залишкового ресурсу, планування технічного обслуговування та ремонту накопичувачів є досить складним або і взагалі не можливим завданням.

Теоретичні основи сенсорних систем для діагностики моделей приводів технологічних роботизованих робочих місць розроблені в роботах [1; 2] та роботах інших авторів. Ураховано принципи сенсорних систем діагностики технологічних робочих місць та параметричної діагностики технологічних систем. За джерелом інформації для сенсорних систем діагностики моделей приводів технологічних роботизованих робочих місць розрізняють тестову та функціональну діагностику.

Методи діагностики класифікують за такими ознаками: ступінь інформативності, види діагностичної інформації, ступінь використання технічних засобів, етапи операції, глибина діагностики. Для моделювання й аналізу роботи енергетичних систем є ефективним використання нечіткої логіки. Актуальність застосування нечіткої логіки полягає в автоматизації процесу діагностики. У таких завданнях міститься багато невизначеностей для проведення діагностики. Зміни в показаннях датчиків сильно варіюються під впливом зовнішніх (наприклад, зміни температури, опору, навантаження тощо) і внутрішніх факторів (наприклад, зміни магнітного потоку електродвигунів). Нечітка логіка забезпечує ефективний засіб представлення невизначеностей і неточностей. Нечітка логіка може подолати неточну природу невизначеності на основі використання нечіткої функції належності для роботи з невизначеністю, забезпечуючи дуже точний підхід.

Наявність математичних засобів відображення нечіткої вихідної інформації дозволяє побудувати модель, адекватну реальності. Нині ще не створено таку систему технічної діагностики, яка б оцінювала поточний технічний стан обладнання та забезпечувала раннє виявлення можливих дефектів, а також прогнозувала їх розвиток у майбутньому. Тому актуальним стає завдання використання евристичного підходу на основі методів штучного інтелекту, а саме теорії нечітких множин.

1. Peterka J., Nikitin Y.R., Bozek P. *Diagnostics of automated technological devices. MM Sci. J.* 2020, 2020, 4027–4034.

2. Kuric I., Cisar M., Tlach, V., Zajacko I., Gál T.; Więcek D. *Technical Diagnostics at the Department of Automation and Production Systems. In Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance; Advances in Intelligent Systems and Computing; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 474–484.*

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕНДЕНЦІЙ СВІТОВОГО АВТОМОБІЛЬНОГО РИНКУ

© Вовчак Любомир<sup>1</sup>, Юрій Кривенчук<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), студент кафедри систем штучного інтелекту, [yurpiter2101@gmail.com](mailto:yurpiter2101@gmail.com)

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), доцент кафедри систем штучного інтелекту, к.т.н., доцент [yurkokryvenchuk@gmail.com](mailto:yurkokryvenchuk@gmail.com)

Впродовж останнього десятиліття автомобільний ринок зазнає кардинальних змін векторів його розвитку. Одним з найбільш помітних новітніх векторів розвитку ринку є курс на електрифікацію всіх автомобільних засобів, від мотоциклів до вантажівок. Автомобільні компанії для отримання більшого прибутку “знищують” автомобілі з двигунами внутрішнього згорання. Електромобілі набагато дешевші технічно, але автоконцерни продають їх по такій же ціні, як і авто на ДВЗ, а деколи й дорожче.

На електроавто створено штучний попит за рахунок популяризації думки про те, що саме авто з ДВЗ є причиною екологічної катастрофи, яка повисла над людством. Але мало хто перевіряє подану їм готову інформацію, випускаючи з виду мільйони заводів, кожен з яких за одну секунду викидає в атмосферу більше шкідливих речовин, ніж тисячі авто. Або, наприклад, ніхто з так званих еко-активістів не згадує про те, що сучасні автомобільні двигуни зроблені настільки екологічними, що людина може дихати вихлопними газами без жодної шкоди для її здоров'я. Та що тут казати, одні лиш автомобільні гальмівні колодки роблять більше викидів в атмосферу, ніж двигун, але чомусь замість того, щоб вкладатися в їхнє удосконалення, всі вирішили, що перехід на електроавто щось змінить.

До слова про гальма, електроавто завжди набагато важчі за звичайні через акумулятор, вага якого іноді доходить до однієї тони. Чи потрібно розказувати про те, що чим більша маса авто, тим більше тратиться енергії на його розгін, подальший рух, та, що важливіше, гальмування. Адже саме через велику масу електроавто провалюють усі тести безпеки, пов'язані з екстремним гальмуванням, так це ще й більше навантаження на гальмівні колодки, що означає більше шкідливих викидів в атмосферу.

Окрім того, ніхто не задумується про порівняння ККД бензинового та електро- двигунів, в той момент, як ДВЗ має ККД 93-96%, а його електричний побратим може похвалитися максимум 70-ма відсотками. Але крім того, під час доставки електроенергії з електростанції до акумулятора втрачається ще близько 45% від початкового значення. Або те, що сам процес створення та знищення акумулятора є дуже шкідливим для довкілля. Більш детальні статті з дослідженнями залишу в списку літератури.

**Аналіз додаткових функцій.** Іншим вектором популяризації є так званий “автопілот”, який насправді являється просто звичайним доповненим круїз-контролем. Тема автомобільного автопілоту є дуже обширною, якщо розглядати її з точки зору бюрократії і юридичної відповідальності. Документально прописано 5 поколінь, кожне з яких має свої можливості і обмеження: "hands on", "hands off", "eyes off", "mind off", "steering wheel optional". Всі існуючі в сучасному світі робочі прототипи автопілотів, які реалізовані в серійних авто, навіть не досягають до третього рівня. Хоча маркетологи вселяють в людей хибні думки про те, що їх авто може “їхати самостійно”, що в результаті приводить до створення тисяч аварій на дорогах.

Дослідженням даної небезпеки займаються багато міжнародних структур і впродовж найближчих років ця технологія буде удосконалюватися. Вище наведено лише два очевидних приклади, при детальному дослідженні стає зрозумілим, що таких випадків сотні. За умови правильного технологічного підходу кожна з цих ситуацій можна буде передбачити завчасно.

**Передбачення поведінки ринку.** Для прогнозування саме таких неочевидних тенденцій підійдуть методи штучного інтелекту. В сучасному інформаційному полі є безліч спеціалізованих розгорнутих датасетів для аналізу яких можна використати, наприклад, бібліотеку Pandas, яка містить відповідні методи для вирішення таких задач.

1. Car Engines Comparative Analysis: Sustainable Approach – Sebastian Grzesiak and Adam Sulich <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/14/5170>
2. InsideEnergy “Lost In Transmission: How Much Electricity Disappears Between A Power Plant And Your Plug?” <https://insideenergy.org/2015/11/06/lost-in-transmission-how-much-electricity-disappears-between-a-power-plant-and-your-plug/>
3. A Critical Review and Analysis on the Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries –
4. Weiguang Lv, Zhonghang Wang, Hongbin Cao, Yong Su, Yi Zhang, and Zhi Sun <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.7b03811>
5. PassBlue “With Scandals Rife Across the UN, Are Managers at Fault?” <https://www.passblue.com/2019/04/24/with-scandals-rife-across-the-un-are-managers-at-fault/>
6. SYNOPSISYS “The 5 levels of Vehicle Autonomy Explained” <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>
7. Pandas <https://pandas.pydata.org>

## ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОСТІ ВОДИ В ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ БЕЗКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ

© Оксана Гонсьор, 2022

Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна), доцент кафедри Спеціалізованих комп'ютерних систем, к.т.н., доцент, oksana.y.honsor@lpnu.ua

Харчова промисловість потребує постійної якості та безпеки. Виробники харчових продуктів хочуть мати рішення, які дозволяють проводити автоматичний, швидкий і неруйнівний контроль різноманітних параметрів. Одним із таких параметрів є показник активності води  $a_w$ , який є важливим для харчових виробництв, оскільки він має значний вплив на якість продукту.

В Україні значення показника активності води в продуктах харчування та методика його визначення регламентується низкою нормативних документів [1,2] та положеннями системи НАССР, впровадження і застосування якої регламентується Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України [3].

Активність води – це міра для енергетичного стану води в системі, яка визначає співвідношення між тиском водяної пари продукту і тиском насичення чистої води при однаковій температурі. Межі виміру лежать в діапазоні  $0 \dots 1 a_w$ . Активність води не слід плутати з показником вмісту води («хімічно пов'язана» вода – продукт) [4].

Активність води  $a_w$  характеризує наявність вільної води в продукті та не залежить від маси продукту.

$$a_w = p/p_0, \quad (1)$$

де  $p$  – тиск парів води над продуктом;  $p_0$  – тиск парів води над чистою водою.

Активність води впливає на такі властивості продукту, як мікробіологічна, хімічна та ферментна стабільність, колір, смак і поживна цінність, термін придатності, розчинність і текстура.

Активність води вказує на кількість води, яка є біологічно доступною для мікроорганізмів. Кожен вид мікроорганізму (бактерії, дріжджі, цвіль та ін.) має мінімальне значення активності води, нижче якої зростання більше не є можливим. Граничне значення активності води, при якому припиняється ріст патогенних мікроорганізмів становить  $a_w = 0,6$ .

Існує ряд приладів для вимірювання активності води, які володіють високою точністю, ефективністю, сумісністю і простотою калібрування, які є сучасними та володіють хорошими характеристиками (прилад для вимірювання активності води “AwTherm” (точність  $\pm 0,005a_w$ ,  $\pm 0,1$  К), лабораторний прилад “Hygrolab” ( $\pm 0,008a_w$  при  $23^\circ\text{C}$ ), станційний зонд HC2-AW-USB). Проте ці прилади вимагають руйнівних методів контролю або застосовуються в лабораторних умовах.

Сучасні харчові підприємства (зокрема ті, які виготовляють печиво та крекери) прагнуть вийти на новий рівень контролю якості та застосовувати неруйнівне визначення вмісту активної води в продукції, не перериваючи процесу виробництва.

Класичним методом вимірювання показника активності води є метод точки роси з використанням охолодженого дзеркала. Ємнісний метод в порівнянні з ним має нижчу швидкість вимірювання та нижчу точність. Метод з використанням діодного лазера (TDL – Tunable Diode Laser) володіє високою швидкістю вимірювання та задовольняє вимогам щодо точності вимірювань [5].

Структурна схема вимірювання активності води з допомогою TDL зображена на рис. 1.

Сенсор випромінює точно налаштований інфрачервоний лазерний промінь через простір над зразком. Промінь лазера шириною менше одного нанометра є специфічним для звичайного ізотопу води. Інші молекули пари, включно зі спиртами, бензином, органічними

розчинниками та пропіленгліколем, не впливають на покази. Ослаблення променя вимірюється лазерним приймачем LSD і безпосередньо з цього значення визначається концентрація молекул води в повітрі камери. Потім тиск пари, визначений TDL, ділиться на тиск насиченої пари при температурі зразка, щоб отримати активність води.

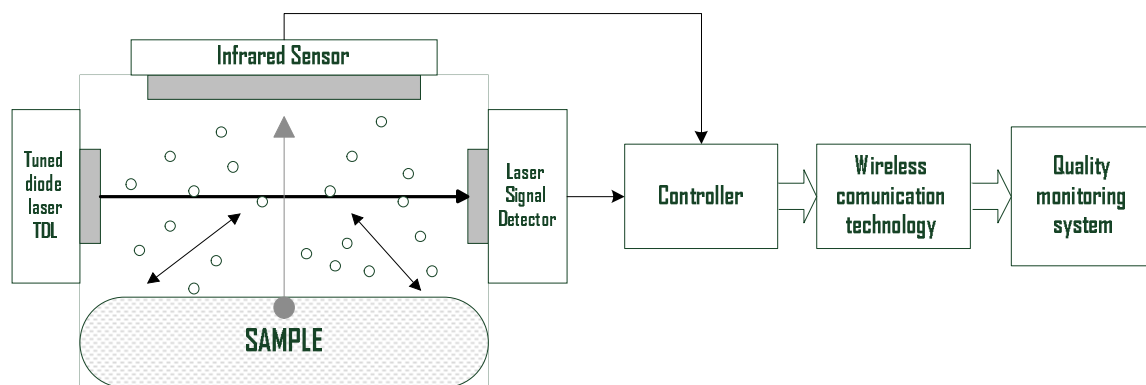


Рис. 1. Структурна схема вимірювання активності води з допомогою TDL.

Діодний лазерний сенсор є єдиним існуючим сенсором, який може точно вимірювати активність води у зразках, що містять значні концентрації летючих речовин.

Температура зразка вимірюється за допомогою інфрачервоного сенсора. Значення температури повинно підтримуватися на рівні 25°C, оскільки показник активності води є термочутливим.

Дані з детектора лазерного сигналу та інфрачервоного сенсора надходять на контролер, де вони опрацьовуються та передаються в комп'ютерну систему моніторингу якості продукції. Для передавання даних доцільно використовувати безпроводні технології зв'язку.

**Висновки.** Показник активності води є дуже важливим для визначення якісних параметрів харчових продуктів, зокрема у виробництві печива та крекерів. Він показує можливість розвитку мікроорганізмів в готовій продукції. На сьогодні є актуальним безконтактні методи визначення активності води без переривання технологічного процесу. Даним вимогам відповідає метод з використанням діодного лазера з можливістю налаштування, оскільки дає можливість встановлювати вимірювальну систему безпосередньо на конвеєрі та не вимагає відбору зразків продукції. Безумовною перевагою є можливість передавання даних на контролер та в комп'ютерну систему моніторингу якості продукції для зберігання, опрацювання та аналізу отриманих даних.

1. Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Метод визначення активності води: ДСТУ ISO 21807:2007. – [Чинний від 2009—01—01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 10 с.

2. Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження мікробіологічних критеріїв для становлення показників безпеки харчових продуктів» від 19.07.2012р.

3. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України № 590 від 01.10.2012 «Про затвердження Вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпекою харчових продуктів (НАССР)». Зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства № 429 від 17.10.2015

4. Важливість виміру води в продуктах. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ventalab.ua/vazhlivist-vimiru-aktivnosti-vodi-v-produktakh/>

5. Brady P. Carter, Geoff Brown Superior Water Activity Measurement of Oils and Lubricants Using a Tunable Diode Laser. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://usermanual.wiki/Document/14644SuperiorWaterActivityMeasurementofOilsandLubricantsUsingaTunableDiodeLaserPrint.547240408/html>

## АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАРПЛАТ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

© Надія Горішна<sup>1</sup>, Юрій Кривенчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), студентка кафедри систем штучного інтелекту, nadia.horishna.knm.2019@lpnu.ua

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), доцент кафедри систем штучного інтелекту, к.т.н., доцент yurkokryvenchuk@gmail.com

Впродовж останніх років ринок заробітних плат зазнає суттєвих змін, та це питання все частіше підіймається серед працівників та роботодавців. На сьогоднішній день сфера зарплат знаходиться на етапі становлення, оскільки поняття доступної інформації про заробітну плату для широкої громадськості є предметом суперечок та інтриг.

Заробітна плата – одна з найважливіших речей, яку слід враховувати, коли людина отримує пропозицію про роботу. Однак не всі оголошення про роботу показують, скільки вони готові платити своїм працівникам.

Таке ставлення, звичайно, значною мірою є культурним, оскільки інші ринки, як, наприклад, у Великій Британії, працюють зовсім по-іншому з цього приводу. У цих країнах зарплата є загальноприйнятим аспектом у заявці на роботу. Більшість роботодавців самостійно публікують інформацію про зарплату у своїх відповідних списках. Зважаючи на все це, не можна плутати прийняті соціальні норми з відсутністю суспільного інтересу.

Як показує статистика, зарплата є як найкориснішою інформацією під час пошуку роботи, так і другою за популярністю причиною для працівників, щоб змінити роботу.

Сьогодні однією з основних причин, чому працівник змінює компанію, є його зарплата. Люди постійно змінюють компанію, щоб отримати очікувану зарплату, і це призводить до збитків для компаній.

Щоб покращити дану ситуацію та при цьому не ускладнювати процес найму для роботодавців, процес обрахунків та передбачень заробітних плат можна автоматизувати.

Але не можливо випадково надати кожному очікувану зарплату, має існувати система, яка вимірюватиме здатність працівника отримати очікувану зарплату і передбачить її, використовуючи певні набори даних.

Які ж будуть переваги використання таких автоматизованих систем передбачення заробітних плат?

**Чесність.** Заробітна плата працівника організації прогнозуватиметься на основі минулого досвіду та освітніх кваліфікацій. У даному випадку не буде такого, як суб'єктивне ставлення роботодавця до працівника і таким чином, робочі стосунки та заробітна плата будуть двома незалежними поняттями.

**Якісний підхід до розрахунку заробітної плати.** Тут братиметься до уваги історія заробітної плати, а потім на основі цієї заробітної плати людини через певний період часу вона може бути розрахована автоматично.

**Відкритість.** Люди, які розглядають можливість зайняти певну посаду на роботі, зможуть отримати приблизне уявлення про те, на яку зарплату вони можуть розраховувати та чи є у них можливість для переговорів.

У цьому конкурентному світі кожен має вищі очікування та цілі і заслуговує знати, що йому готові запропонувати враховуючи тенденції ринку заробітних плат.

З кожним роком все більше процесів автоматизується й основна мета цього – це дозволити штучному інтелекту робити прогнози та навчатися автоматично без втручання



людини. На даний момент розробляється система для автоматизації нарахування заробітної плати для фахівців ІТ в основі якої лежать методи машинного навчання.

1. *Das S. Salary prediction using regression techniques / S. Das, R. Barik, A. Mukherjee. – Rochester, NY : 2020.*

2. *Kelleher J. D. Fundamentals of machine learning for predictive data analytics, second edition: algorithms, worked examples, and case studies / J. D. Kelleher, B. M. Namee, A. D'Arcy. – MIT Press, 2020. – 853 p.*

3. *Штучний інтелект визначив фактори, які впливають на зарплату працівника. Режим доступу: <https://www.the-village.com.ua/village/business/news/276001-vcheni-peredbachayut-zarplatu-pratsivnika-za-dopomogoyu-shtuchnogo-intelektu>*

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ РИЗИКІВ ПРОЦЕСІВ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ КАЛІБРУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

© Тарас Гут<sup>1</sup>, Микола Микійчук<sup>2</sup>, Ірина Кравченко<sup>3</sup>, 2022

<sup>1</sup> Національний університет “Львівська політехніка” (Львів, Україна),

аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, tarasgut@ukr.net

<sup>2</sup> Національний університет “Львівська політехніка” (Львів, Україна), директор інституту комп’ютерних технологій, автоматики та метрології, д.т.н., проф., mykolamm@ukr.net

<sup>3</sup> Державне підприємство “Київський обласний науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації”, генеральний директор, ikra4489@gmail.com

**Ключові слова:** ризик, оцінка ризику, калібрувальна лабораторія, ризик-менеджмент, міжнародні стандарти, невизначеність.

На сьогодні вимоги щодо діяльності та компетентності калібрувальних та випробувальних лабораторій, в тому числі і вимоги щодо ризик-орієнтованого підходу викладені в стандарті ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [1], нова редакція якого вступила в силу від 01.01.2021 року. В новій редакції стандарту в якості характерних відмінностей необхідно відмітити наступні: запровадження підходу на основі оцінки ризиків, що ґрунтуються на отриманих результатах; більшу гнучкість щодо вимог стосовно процесів, процедур, задокументованої інформації; запровадження поняття “лабораторія” (п. 3.6 [1]).

На даний час єдиним міжнародним стандартом, де містяться принципи, структура та процес ризик-менеджменту, є стандарт ДСТУ ISO 31000:2018 “Менеджмент ризиків. Принципи та настанови” (ISO 31000:2018, IDT) [2].

Узагальнюючи вище викладену інформацію необхідно зазначити, що стандарт ДСТУ EN ISO/IEC 17025 встановлює вимоги до організації діяльності калібрувальних та випробувальних лабораторій зокрема і застосування ризик-орієнтованого підходу (управління ризиками та можливостями, п.8.5), а стандарт ДСТУ ISO 31000 встановлює безпосередньо опис, структуру, принципи та процеси управління ризиками для застосування в організаціях різної форми власності та різної сфери діяльності.

Чітке визначення поняття “ризик” висвітлює ДСТУ ISO Guide 73 [3]: “Ризик – невизначеність щодо досягнення цілей”.

**Ризик** – це вплив невизначеності на цілі [2]. Вплив повинен розглядатися як відхилення з позитивними і негативними наслідками. Ризик найчастіше пов’язаний з подією (результатом процесу) та завжди призводить до наслідків, які можуть бути позитивними, негативними або мізерними. Для того, щоб вирішити існуючі проблеми і вдосконалити діяльність калібрувальної лабораторії, необхідно здійснити розгляд задач по зниженню ризиків.

При розробці ризик-орієнтованих підходів для калібрувальної лабораторії необхідно керуватися положеннями стандарту ДСТУ ISO 31000 [2] та нової редакції ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [1].

Ризики в роботі калібрувальної лабораторії – це невизначеності, які іноді впливають на результати цієї роботи. Вони можуть формуватися зовнішніми факторами, наприклад, ринковою ситуацією, так і самою калібрувальною лабораторією (персоналом, обладнанням, умовами навколишнього середовища, тощо).

Ризики можуть бути не тільки негативні (негативно впливати на результат), а й позитивні – такі ризики в стандарті ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 називаються можливостями для поліпшення результату чи вдосконалення діяльності.

Перевищення оптимального (допустимого) рівня ризику над встановленим критерієм визначає ступінь ризику.

Ризиком необхідно управляти, тобто розробляти та застосовувати певні заходи, план дій, для зниження ступеню ризику.

В ході опрацювання положень стандарту було побудовано схему вимог щодо управління ризиками представлену на Рисунку 1.

Положення п. 8.5 “Дії щодо ризиків та можливостей” [1] є основними вимогами до системи менеджменту лабораторії щодо обліку ризиків та планування діяльності лабораторії з урахуванням виявлених ризиків. Даний принцип – виявлення ризиків та планування діяльності з їх урахуванням потрібно інтегрувати та запровадити в повсякденну лабораторну діяльність.

Метою ідентифікації джерел ризику, сфери впливу, подій та причин, потенційних наслідків є складання переліку ризиків, що основані на подіях, які можуть створювати, попереджувати, прискорювати, підвищувати, затримувати, знижувати досягнення цілей.

Якщо ризик не ідентифікувати, то він не буде проаналізований в майбутньому. Тому, вважаю, що необхідно розглядати можливі причини і сценарії для того, щоб зрозуміти, які можуть бути наслідки.

Для збору інформації про ризики можливо застосовувати різні методи, такі як метод Дельфі, “мозковий штурм”, метод “кроватька-метелик”.

Для ідентифікації ризиків розглянемо ризики, які можуть виникнути під час діяльності калібрувальної лабораторії. На Рисунку 2 графічно представлено основні категорії ризиків згідно з положеннями стандарту ДСТУ EN ISO/IEC 17025.

Безумовно, діяльність по визначенню ризиків – складна робота, результати якої необхідно постійно переглядати та актуалізовувати. Метрологічна діяльність доволі часто зустрічається з ризиками, які мають наслідки. В рамках даної праці було розглянуто питання ідентифікації ризиків калібрувальної лабораторії. Для підвищення результативності роботи лабораторії метрологічного комплексу необхідно поглиблювати та удосконалювати ділові якості у сфері управління ризиками, розробити і втілити власну документовану процедуру управління ризиками.

Впровадження систем управління метрологічними ризиками в діяльності калібрувальних та випробувальних лабораторій сприятиме підвищенню ефективності систем менеджменту вимірювань та зменшенню витрат при забезпечення якості метрологічних робіт та послуг. Для ефективного застосування систем управління ризиками в процесі виконання метрологічних робіт (послуг) необхідно створити систему показників метрологічних ризиків, а також відповідне нормативне забезпечення їх обґрунтованого застосування в системах управління вимірюваннями.

1. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT) *Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій*
2. ДСТУ ISO 31000:2018 (ISO 31000:2018, IDT) *Менеджмент ризиків. Принципи та настанови*
3. ДСТУ ISO Guide 73:2013 (ISO Guide 73:2009, IDT) *Керування ризиком. Словник термінів*
4. ДСТУ ISO/TR 31004:2018 (ISO/TR 31004:2013, IDT) *Менеджмент ризиків. Настанова з впровадження ISO 31000*
5. ДСТУ IEC/ISO 31010:2013 (IEC/ISO 31010:2009, IDT) *Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику*

## EVALUATION PROCEDURE AND UNCERTAINTY BUDGET FOR PH MEASUREMENT OF DRINKING WATER

© Mykhaylo Dorozhovets<sup>1,2</sup>, Anna Szlachta<sup>3</sup> 2022

<sup>1</sup> Rzeszow University of technology (Rzeszow, Poland), professor of the Department of Metrology and Diagnostic Systems, Doctor of Technical Sciences, Professor, michdor@prz.pl

<sup>2</sup> Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), professor of the Department of Information and Measurement Technologies, Ph.D., professor, mykhailo.m.dorozhovets@lpnu.ua

<sup>3</sup> Rzeszow University of Technology (Rzeszow, Poland), associate professor of the Department of Metrology and Diagnostic Systems, Ph.D., annasz@prz.edu.pl

In this paper, a detailed evaluation procedure and uncertainty budget of the technical measurement of pH of liquids, which are carried out according to the requirements of [1], [2], [3], are presented. The general uncertainty components of pH measurements are presented, among which the most important are: i) uncertainty due to the heterogeneity of the measured liquid, which can manifest itself in the instability of the results of pH measurements of different samples of the same medium – this is a component of uncertainty associated with the object of measurement; ii) uncertainty related to the pH meter [4], namely uncertainty of the instrument readings and the conversion function of the measuring transducer under normal measurement conditions], iii) uncertainty due to calibration (in the manufacturer's instructions – adjustment) of the electrodes [5] with buffer liquids; iv) uncertainties caused by deviations of measurement conditions from normal etc.

The evaluation procedure and uncertainty budget were applied to establish the compliance with the requirements [6] (ДСТУ4077: 2001, part 7; ISO 10523: 1994) of the pH of drinking water produced by Lvivvodokanal, Zolochiv district, Pluhiv village.

Measurement and evaluation of pH was carried out using a pH meter pH-150M [5] and measuring electrode ЭСКЛ-08М [6].

The uncertainty budget of pH measurement consists of 12 components, for each of which the coefficients of influence on the combined standard uncertainty were determined. All uncertainty components were estimated using the Type B method, 8 components had a uniform distribution and the remaining 4 components had a triangular distribution. The effective number of degrees of freedom ( $d_{\text{eff}} = 33$ ) is determined by the Welch-Satterthwaite formula [1]. The combined standard uncertainty of water pH measurement was 0.0521 pH units, and the expanded uncertainty was ( $p=0.95$ ,  $k_{0.95} \approx 2.035$ ) 0.10 pH units. Result of measurement:

$$pH = (7.04 \pm 0.10) \text{ pH unit}, p = 0.95, k_{0.95} \approx 2.035, d_{\text{eff}} = 33.$$

The presented procedure can be applied to the estimation of uncertainty of pH measurements of other liquids.

1. *Evaluation of measurement data—Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100. 2008.*

2. *Basic laboratory skills training guide: Measurement of pH. VAM Guide, LGC, VAM, 2001.*

3. *EURACHEM/CITAC Guide Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Third Edition. Editors S L R Ellison (LGC, UK) A Williams (UK), QUAM: 2012. 133p.*

4. *pH-МЕТР pH-150М. Руководство по эксплуатации: 1Е2.840.858РЭ. Библиотека Ладогед, OCR Войкин Ю. В., 2008 г.*

5. *Электроды стеклянные комбинированные лабораторные ЭСКЛ-08М. Паспорт Ш2.840.696 ПС.*

6. *ДСТУ4077:2001 (ISO 10523:1994, MOD) «Якість води. Визначення рН».*

## ДИНАМІЧНІ ПОХИБКИ В СИСТЕМАХ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Віктор Денисюк, 2022

Луцький національний технічний університет (Луцьк, Україна), доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, к.т.н., доцент, v.denysiuk@lntu.edu.ua

Для діаметральних вимірювань у системах активного контролю розмірів деталей на операціях шліфування широко використовуються двошконтатні первинні вимірювальні перетворювачі. Вони мають ряд переваг за експлуатаційними характеристиками над системами підналагодження та одноконтатними перетворювачами, а саме: безперервний контроль поточного розміру, прямі вимірювання діаметра, а не радіусу, ігнорування впливу ряду зовнішніх чинників, що спричиняють похибки вимірювання, значне зниження впливу вібрацій на точність вимірювання, надають значні переваги у їх використанні.

Для визначення динамічної похибки в умовах, близьких до виробничих, як правило, використовують шліфувальний верстат, на якому встановлюють спеціальну оправку, що утримує зразкову овальну деталь або мірний конус, та шайбу, яку шліфують під час циклу контролю. На зразкову деталь встановлюють вимірювальні наконечники. Під час перевірки зразкова деталь імітує зміну розміру деталі під час шліфування. В момент рівності сигналу вимірювання та встановленої опорної напруги, що поступає на пороговий пристрій, прилад видає команду, який припиняє обертання зразкової деталі. Похибка видачі команди визначається за показами приладів, встановлених на зразковій деталі [1, 2].

В основі методу визначення впливу окремих чинників, що супроводжують процес шліфування, на динамічну похибку систем активного контролю безпосередньо у цехових умовах, лежить імітація зміни сигналу розміру шляхом подачі у нуль-орган систему каліброваного лінійного сигналу. На другий вхід нуль-органу поступає сигнал з давача, і цей сигнал включає тільки інформацію про динамічну похибку. На рисунку 1 подано часову діаграму, що ілюструє принцип цього методу, а на рисунку 2 – структурна схема пристрою, який реалізує цей метод.

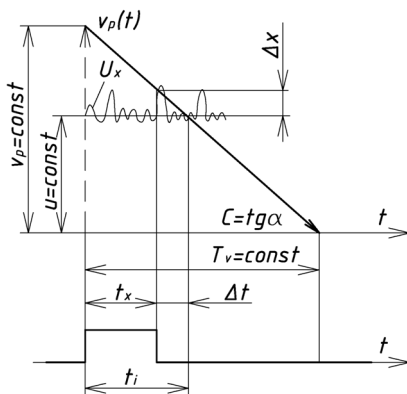


Рис. 1 Часова діаграма

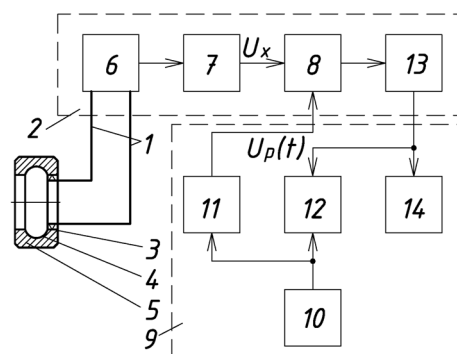


Рис. 2. Структурна схема пристрою для перевірки динамічної точності систем активного контролю

Вимірювальні наконечники 1 приладу 2, який перевіряється, встановлюються на раніше обробленій у реальних умовах поверхні 3 у близькості від поверхні оброблення 4 деталі 5. Під час оброблення на виході давача 6 появляється сигнал, створований тільки завадами (розмір не змінюється), викликаними дією збурюючих чинників у процесі шліфування. Після

підсилення та перетворення у блоці 7 сигнал вимірювання  $U_x$  поступає на вхід нуль-органу 8. Під час включення у пристрої 9 схеми 10 генератор розгортуючого типу 11, що перетворює опорну напругу приладу у спадаючу лінійну напругу  $U_p(t)$ , яка поступає на другий вхід нуль-органу, де порівнюється з сигналом вимірювання  $U_x$ . Одночасно з генератором розгортування запускається пристрій часових інтервалів – секундомір 12.

В момент рівності  $U_p(t) = U_x$  нуль-орган видає сигнал, який через релейний елемент 13 виключає пристрій часових інтервалів 12 і включає пристрій часових інтервалів 14, яке виключається в момент відскоку шліфувального круга від поверхні оброблення. Покази пристрою 12, отримані у статичному стані вимірювання деталі, за відсутності збурюючих факторів відповідають часу  $t_i$ , а покази пристрою під час дії збурюючих факторів будуть рівні часу  $t_x$ . Оскільки сигнал  $U_p(t)$  змінюється з постійною та визначеною швидкістю  $C$  мкм/с, то відрізки часу  $t_x$  і  $\Delta t$  будуть пропорційні значенням  $U_x$ :  $t_x = U_x / C$  та  $\Delta t = t_i - t_x$  якщо  $U_p(t) = U_x$ .

Відрізок часу  $\Delta t$  є динамічною похибкою в одиницях часу. Із часової діаграми випливає що  $\Delta t = \Delta x / C$ , відповідно,  $\Delta x = C \Delta t$ , де  $\Delta x$  – динамічна похибка, виражена в одиницях довжини. Покази пристрою часових інтервалів 14 характеризують запізнення верстату.

Порядок перевірки впливу інших факторів на динамічну похибку системи активного контролю і результати перевірки зведені в таблиці 1.

Таблиця 1

#### Вплив факторів на динамічну похибку системи активного контролю

| Вид похибки  | Формула                           | Значення похибки, мкм |
|--|-----------------------------------|-----------------------|
| Статична похибка приладу сумісно зі стендом                          | $6\sigma_1$                       | 0,5                   |
| Похибка від обертання деталі   | $6\sqrt{\sigma_2^2 - \sigma_1^2}$ | 0,66                  |
| Похибка від обертання шпинделя круга                                 | $6\sqrt{\sigma_3^2 - \sigma_2^2}$ | 0,36                  |
| Похибка від осциляції шпинделя круга                                 | $6\sqrt{\sigma_4^2 - \sigma_3^2}$ | 0,82                  |
| Сумарна похибка приладу (похибка видачі команд в процесі шліфування) | $6\sigma_6$                       | 8,4                   |
| Похибка верстату   | $6\sqrt{\sigma_7^2 - \sigma_1^2}$ | 12,42                 |
| Загальна похибка оброблення деталей                                  | $6\sigma_7$                       | 15,0                  |

Окремі збурюючі чинники, що впливають на похибку приладу, визначалися з припущенням, що вплив цих чинників є некорельованим і підпорядковується нормальному закону розподілу. Середнє квадратичне значення статистичної похибки  $\sigma_1$  визначалося за результатами оброблення значень  $t_i$ ; середнє квадратичне значення похибки від обертання деталі визначалося із виразу  $\sqrt{\sigma_2^2 - \sigma_1^2}$ , у якому  $\sigma_2$  визначалося за результатами оброблення значень  $t_{x1}$ . Аналогічно визначалося середнє квадратичне значення похибок від дії інших збурюючих чинників. Значення  $\sigma_3$  отримано за результатами оброблення значень  $t_{x2}$ ,  $\sigma_4$  – за результатами  $t_{x3}$ ,  $\sigma_5$  – за результатами  $t_{x4}$ ,  $\sigma_6$  – за результатами  $t_{x5}$  і  $\sigma_7$  – за результатами  $t_{x6}$ .

Результатом застосування управляючої програми порівняно з традиційним технологічним процесом та зменшення й стабілізації динамічної похибки вимірювання, стали наступні показники: розсіювання загальної похибки оброблення в експериментальній партії

деталей (90 шт.) зменшився до 6 мкм (проти 8,5 мкм), що дає можливість повної гарантії уникнення браку з технологічним запасом у 2 мкм.

*1. Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Новосад Б. І. Метрологічне забезпечення точності приладів активного контролю в процесі обробки. «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. 2020. Вип. 16. С. 38-47.*

*2. Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Лапченко Ю.С. Технологічне забезпечення точності деталей підшипників засобами активного контролю. «Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів»: зб. наук. праць VI Міжнар. наук.-техн. конф. м. Луцьк, 2-4 черв. 2020 р. Луцьк, 2020. С. 148-149.*

## INFORMATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY OF UNDERGROUND PIPELINES DIAGNOSTIC TESTING

© Roman *Dzhala*<sup>1</sup>, Vasyl *Dzhala*<sup>2</sup>, Maryan *Melnyk*<sup>3</sup>, Bohdan *Verbenets*<sup>2</sup>, Taras *Shevchuk*<sup>4</sup>, 2022

Physico-Mechanical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine,  
Laboratory of electrophysical methods of non-destructive testing (Lviv, Ukraine), dzhala@ipm.lviv.ua

<sup>1</sup>Doctor of Engineering, Head of the Lab;

<sup>2</sup>Candidate of technical sciences, Senior Research Fellow,

<sup>3</sup>Candidate of technical sciences, Junior research associate, <sup>4</sup>Post postgraduate, Engineer

Gas, oil, water, products of the chemical industry is transported through underground pipelines (UP). This is very important for the proper supply of the population, enterprises and the country's defense capability. There are more than 2 million km of pipelines in the world. Effects of an aggressive environment cause damage to pipelines, leading to accidents and disasters, supply interruptions and loss of products, environmental pollution [1, 2].

For increase the reliability and extend the life of metal pipelines, corrosion protection (CP) with insulating coatings and cathode polarization is apply [2]. In order to prevent corrosion damage, it is necessary to adjust the CP in time and in the appropriate places, which requires periodic diagnostic testing of UP.

UP diagnostic examinations are traditionally carried out by contact electrometric methods. The main disadvantages of which are the laboriousness of ensuring a sufficient number of reliable contacts of the voltmeter with the UP metal and the soil, the local type of control and insufficient informativeness. The efficiency and informativeness of UP testing are significantly increased by the use of non-contact current measurements (CM).

In Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine method of non-contact CM is developed and new CM devices for control of UP CP state are created. **New** technology of **integral, differential** and **local** inspection and quantitative estimation of CP parameters distribution along route are developed. **Current distribution** is most sensitive to composition of environment and insulation state.

**Non-contact methods** of inspection have significant advantages in comparison with traditional contact methods due to mobility, efficiency and amount of information. But they need special measuring tools. For implementation of non-contact methods complex investigation of informative signs of field and measured signals, creation of algorithms, measuring tools and data processing were necessary.

Methodology of study is based on triune mathematical model of UP electromagnetic field [1, 2]. It consists of solutions of electrodynamic boundary value problems, theory of electric circuits with distributed parameters and calculation of electric and magnetic fields of spreading currents in conducting medium. Investigation and equipment development are based on the theory of informational-measurement technology, mathematical simulation with use of empirical and heuristic approaches, laboratory and full-scale testing.

Theoretical basics of differential method of non-contact CM as a basis for systems of input transformers of non-contact UP CM design is developed. Classes of gradient (radial) and parallax (azimuthal) methods are distinguished [1]. Their informative, metrological and technological properties are analyzed and compared. New methods of non-contact CM with azimuthal and radial orientation of the base of observation points, with arbitrary placement of base in transverse to pipeline plane (with component and modul primary transformers) are proposed.

An **integral** part of the technology of the UP system non-contact inspections are measuring the current distribution of the cathodic protection station (CPS) between various branches and arms of the pipelines.



Based on non-contact measurements of the variable component of the CPS current and measurements of the harmonic coefficient (by the ratio of the variable to the constant component of the voltage or current at the output of the CPS), we find the distribution of the current constant component of the cathodic protection between different branches and arms of the UP.

We obtain basic information about the state of protection against corrosion of UP by **differential** examinations. With the non-contact method we measure the value of the current  $J_n$  at the UP points  $n = 0, 1, 2, \dots$ , the distances between which (intervals) are  $\Delta l_n$ . We determine the current flow at each interval  $\Delta l_n$  of the pipeline, located in one arm of the zone of action of the probing current source.  $\Delta J_n = J_n - J_{n-1}$ , A.

The relative current consumption per unit length of the pipeline (relative linear current flow density) is determined by the formula

$$\delta J_n = \frac{\Delta J_n}{J_{na} \cdot \Delta l_n} \cdot 100\%, \text{ \% m}^{-1},$$

where  $J_{na} = (J_n + J_{n-1})/2$  is the average current in the pipeline at the n-th interval. The relative linear density of current consumption  $\delta J_n$  characterizes the attenuation of the signal along the UP. It is proportional to the electrical conductivity of insulating coatings and is an indicator of UP insulation **damage**: the largest values of  $\delta J_n$  indicate the places of the highest "pipe-ground" conductivity, i.e., the lowest resistance of protective coatings. Comparison with the critical attenuation of the current makes it possible to easily identify the places of UP **unsatisfactory insulation** [2].

**Transient resistance** "pipe-earth" per unit of pipe surface for each interval  $n$  of the pipeline section [2] is calculated by the formula

$$r_{pg}(n) = \frac{R_b \pi D}{|\delta J_n|}, \text{ } \Omega \text{ m}^2,$$

where  $R_b$  is the input resistance of the pipe's line,  $D$  is the diameter of the pipe. Based on this, we compare the condition of protective coverings (insulation with soil) at different intervals (sections) of UP [2].

Transient resistance  $r_{pg}$  is an important generalized characteristic of PT protective coverings. Determination of its **components** [2] – insulation  $r_i$ , environment  $r_g$ , polarization  $r_p$  is required during the design and control of anti-corrosion protection and diagnostics of UP technical condition.

Based on the measured current consumption, we determine the density of inflow (outflow) of alternating current per unit of the UP surface for an arbitrary area. The harmonic coefficient can be measured by the ratio of alternating to constant electrical voltages on the soil surface across the piper's track. We estimate the density of the constant component of the **cathodic protection** current on an arbitrary section of the UP.

Created devices of type ORT and BIT for non-contact CM are put into operation, for diagnostics inspections of arterial pipelines, pipeline networks in human settlements and on territory of enterprises, other conductive communications.

Field tests and operation confirm, that non-contact CM method and created electromagnetic information and measurement system give new information about UP corrosion state on different regions without opening the underground pipelines. Functional possibilities of non-contact CM method, created devices and developed technology are confirmed by comparative testing and examples of use in **express inspection** of arterial gas, oil and water pipelines.

*1. Dzhalala R.M., Dzhalala V.R., Verbenets' B.Ya. Noncontact testing of underground pipelines corrosion. Theoretical and practical aspects of the development of the european scientific space – Riga: "Publishing House "Baltija Publishing". 2020. – P. 212-232.*

*2. Джала Р. М., Дикмарова Л. П., Джала В. Р., Вербенець Б. Я. Електромагнетний контроль ізоляції підземних трубопроводів. – Київ: Наукова думка – 2021. – 260 с.*

## ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ БАГАТОКРАТНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

© Ігор Захаров<sup>1,2</sup>, Олеся Боцюра<sup>1</sup>, Павло Неєжмаков

<sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки (Харків, Україна), д.т.н., професор, newzip@ukr.net,

<sup>2</sup> Національний науковий центр «Інститут метрології» (Харків, Україна), генеральний директор, член Міжнародного Комітету з мір та ваг, д.т.н., професор, pavel.neyezhnikov@gmail.com

В акредитованих на відповідність вимогам ISO 17025:2017 [1] випробувальних та калібрувальних лабораторіях на підставі пп. 7.2.1.4 цього стандарту «можуть застосовуватися методи, розроблені лабораторією, модифіковані». При розробці методики виконання вимірювань при випробуваннях або калібрування одним з важливих питань є вибір мінімально необхідної кількості вимірювань, що проводять, які забезпечують з одного боку, задану розширену невизначеність вимірювань, а з іншого – мінімальну трудомісткість їх виконання.

Прийнято вважати, що кількість багаторазових вимірювань має бути не менше десяти. Цей постулат спирається на документ [2] у Попередженні до пп. 3.2.2 якого говориться, що «Якщо число повторних спостережень менше 10, то надійність значення стандартної невизначеності вимірювання, яка оцінена за методом *A* ... повинна братися до уваги». Насправді при проведенні повторних вимірювань часто не спостерігається мінливості показань вимірювального приладу (наприклад, калібрування штангенциркуля за допомогою кінцевої міри довжини. У цьому випадку немає ніякого сенсу взагалі проводити багаторазові вимірювання.

Метою доповіді є дослідження питання оцінки мінімально необхідної кількості спостережень виходячи з цільової розширеної невизначеності, відомих характеристик розсіювання показань і інструментальної невизначеності вимірювального приладу.

Досліджено способи оцінки числа спостережень при оцінюванні розширеної невизначеності за методикою GUM [3], методом Монте-Карло [4] та и на основі Закону розповсюдження розширеної невизначеності [6], розробленого авторами.

В першому випадку побудована номограма, що дозволяє визначити мінімально необхідну кількість багаторазових спостережень на основі заданих значень розширеної невизначеності вимірювання для ймовірності 0,9545, стандартного відхилення розкиду показань вимірювального приладу та його стандартної інструментальної невизначеності типу *B*.

У випадку розрахування невизначеності вимірювань на основі методу Монте-Карло було здійснено моделювання нормального закону та закону розповсюдження Стюдента с заданими характеристиками та на його основі для ймовірності 0,95 побудована діаграма для розрахунку необхідної кількості спостережень при виконання багаторазових вимірювань. Моделювання здійснювалось за допомогою програми «NIST uncertainty machine» [5].

Застосування Закону розповсюдження розширеної невизначеності виявилось найбільш універсальним для розрахунку необхідної кількості спостережень, оскільки дозволило отримати апроксимуючі вирази для ймовірностей 0,95 та 0,9545 та для нормального й рівномірного законів, що приписуються компонентам типу *B*.

Здійснюється порівняння результатів, отриманих різними способами.

1. ISO/IEC 17025:2005 *General Requirement for the Competence of Testing and Calibrating Laboratories*.

2. EA- 4/02 M:2013 *Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration*.

3. JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections. *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*. – BIPM, 2008.

4. JCGM 101:2008. *Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method*. – BIPM, 2008.

5. <https://uncertainty.nist.gov>

6. Zakharov I P, Botsyura O A “Estimation of expanded uncertainty in measurement when implementing a Bayesian approach”, *Measurement Techniques*, Vol. 61( 4), pp. 342-346, 2018.

## ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ РЕЖИМУ РОБОТИ БІОРЕАКТОРА

© Маріуш Жонса<sup>1</sup>, Орест Середюк<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Політехніка Опольська (Ополе, Республіка Польща),  
завідувач кафедри інформатики, Dr. habil., m.rzasa@po.edu.pl

<sup>2</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Івано-Франківськ, Україна),  
завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки, д.т.н., професор, mivt@nung.edu.ua

Біогаз є одним із альтернативних джерел енергоносіїв [1], що зумовлює необхідність застосування інформаційно-вимірювальних систем для контролю за режимами роботи джерел біогазу, тобто біореакторів. Якісними параметрами біогазу є його фізичні параметри, насамперед теплота згоряння і витрата генерованого газу, які формуються режимами функціонування біореактора.

Метою роботи є дослідження особливостей функціонування інформаційно-вимірювальної системи біореактора.

В біореакторах відбувається процес компостування відходів з використанням методу розкладання органічних речовин за допомогою аеробних процесів. Процес компостування відбувається в біореакторах з контрольованою аерацією, зволоженням і контролем температури [2].

Біореактор складається з димової камери з каналами подачі повітря. Повітря насичує відходи киснем у камері. У верхній частині камери є канали випуску повітря, яке попередньо рециркулює по замкнутому контуру. При цьому постійно контролюється вміст кисню в циркулюючому повітрі. Для того, щоб процес проходив правильно у всьому об'ємі, необхідно підтримувати рівномірний потік повітря у всіх припливних каналах, розташованих у нижній частині камери. Оскільки пористість відходів у камері є неоднорідною, необхідно контролювати потік повітря, що подається в кожен з каналів. Коли вміст кисню в біореакторі падає нижче встановленого значення, відбувається неповний частковий обмін повітря. Цей параметр також контролюється системою інформаційно-вимірювальною системою. При перевищенні температури допустимого значення вмикається додаткова система охолодження. Аналогічно при зниженні вологості повітря, яке також контролюється інформаційно-вимірювальною системою, вмикається додаткова система зволоження біомаси.

Одним із важливих параметрів інформаційно-вимірювальної системи є витрата повітря, яка подається в біореактор від спільного колектора декількома розподіленими каналами, в кожному з яких розміщений давач витрати і дроселююча заслінка. Перед дроселем монтується калориметричний перетворювач витрати газу. Управління заслінками здійснюється поворотним приводом з кутом повороту 0-90°.

При дослідженнях експериментально вивчалися динамічні характеристики використовуваних калориметричних давачів витрати, термометричних перетворювачів, а також аналізувалися нелінійні градувальні характеристики дроселюючих заслінок.

На підставі значень постійних часу давачів витрати і температури з врахуванням інерційності і нелінійності заслінок з електроприводом стало можливим визначення часу окремого кроку для крокового регулятора багатоканального подання повітря в біореактор.

Отримані результати на підставі вимірюваних даних інформаційно-вимірювальної системи дозволяють розробляти адаптивні алгоритми керування повітряними потоками багатоканальних біореакторів, чим досягається їх оптимізація роботи і вплив на якість отриманого біогазу.

1. Про альтернативні види палива: Закон України від 21 травня 2009 р. №1391-VI. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2000. №12. Ст. 94

2. Anders D., Rzasa M.R. The possibility of composting animal waste products. *Environment Protection Engineering*. 2007. Vol. 33. No. 2

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПЕРЕРВНОГО СВІТЛОВОДНОГО ТА БЕЗКОНТАКТНОГО ТЕРМОКОНТРОЛЮ

© Леонід Жуков<sup>1</sup>, Дмитро Петренко<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), пров. наук. співроб. відділу моніторингу та діагностики об'єктів енергетики, д-р. техн. наук, ст. наук. співроб., zhukov@i.com.ua.

<sup>2</sup> Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна), мол. наук. співроб. відділу безперервного лиття та деформаційних процесів, dima-petrenko@meta.ua.

В більшості галузей промисловості, включаючи енергетику, металургію, виробництво скла та вогнетривких матеріалів, а також хімічну та харчову промисловість, температура є головним параметром, який визначає якість продукції, а також ресурсо-, в тому числі енергозатрати на її виготовлення. Тому, наприклад, температурні вимірювання в енергетиці домінують і складають не менше 50 % від загальної кількості вимірювань [1], а в структурі метрологічного забезпечення японських металургійних підприємств «Kawasaki Seitetsu» і «Nippon Steel» – близько 30 % [2]. При цьому, максимальні техніко-економічні показники роботи теплотехнічного обладнання досягаються виключно при безперервному контролі температури. Оптична термометрія є безальтернативною для безперервного високотемпературного термоконтролю. Відсутність оптичного контакту між термометром і поверхнею, температура якої підлягає вимірюванню, а також випадкові зміни її випромінювальної здатності  $\varepsilon=f(\lambda)$  та пропускання  $\tau=f(\lambda)$  проміжного середовища належать до основних проблем сучасної оптичної термометрії. Для розв'язання цих проблем розроблено відповідно світловодні та спектральні технології, а також методи і засоби зменшення впливу пропускання проміжного середовища.

Світловодна термометрія ґрунтується на світловодному формуванні та передачі через футерівку (стінку) агрегата теплового випромінення, термометричні параметри котрого однозначно пов'язані з температурою об'єкта контролю. Основну роль в цій технології відіграє світловодний пристрій, який формує та передає через футерівку теплове випромінення, котре несе однозначну інформацію про шукану температуру. Світловодний пристрій складається зі світловода, армованого силовою конструкцією, яка виконана з вогнетривких, поєднаних з футерівкою, корозійностійких матеріалів. Залежно від діапазону вимірюваних температур, світловод виконано із аморфних або монокристалічних оксидів кремнію, алюмінію чи берилію. Розроблено конструкції, технології виготовлення та монтажу вимірювального устаткування, допоміжних, світловодних і фокусуєчих пристроїв, пірометричних перетворювачів та схем їх оптичного поєднання [3]. Розроблено загальний та частковий, для основних типів теплотехнічних агрегатів і печей, методи світловодної термометрії, а також декілька типів й модифікацій термометричних систем.

Світловодні термометричні технології широко апробовано в найбільш складних термометричних умовах індукційних плавильних, міксерних та розливних печей. В результаті досліджень метрологічних характеристик при промисловій експлуатації світловодних термометричних систем встановлено, що середні квадратичні похибки вимірювань температури рідкого металу для вказаних печей відповідно не перевищують 6,4; 4,9 і 4,3 °С, в діапазоні від 1260 до 1600 °С. В цьому випадку безперервний світловодний термоконтроль дозволяє знизити витрати електроенергії (30-70 %) і шихтових матеріалів (20-30 %), виключити брак та аварії, обумовлені порушенням температурних режимів (40-100 %), підвищити строк служби футерівки (50-140 %) й продуктивність (20-30 %) печей та інших теплотехнічних агрегатів.

Принципи дії спектральних безконтактних термометричних технологій (симетрично-хвильової, двокольорової компенсаційної пірометрії випромінення [4], а також заснованих на

рівнянні нелінійності (РН) спектрального розподілу випромінювальної здатності лінійної, дводіапазонної та параболічної [5]) ґрунтуються відповідно на:

- взаємозв'язку випромінювальної здатності контрольованого об'єкта на середній хвилі робочого спектрального діапазону з її значеннями на симетрично розташованих граничних хвилях;

- взаємозв'язку температури об'єкта з вимірною (спектрального відношення) та дзеркальною двокольоровими температурами його випромінення;

- лінійній апроксимації  $\varepsilon=f(\lambda)$  (тобто на використанні РН з апіорі заданим нульовим коефіцієнтом нелінійності);

- використанні двох спектральних діапазонів, які межують на хвилі інверсії нелінійності  $\varepsilon=f(\lambda)$ ;

- параболічній апроксимації  $\varepsilon=f(\lambda)$  (тобто на використанні РН зі змінним коефіцієнтом нелінійності, який визначається відповідно до критерія відповідності для параболічної  $\varepsilon=f(\lambda)$ ).

Для реалізації світловодних та безконтактних технологій на базі сучасних мікроспектрометрів розроблено універсальну спектральну термометричну систему [6]. Наприклад, мікроспектрометр S2000 (Ocean Optics Inc.) дозволяє реєструвати яскравість випромінення контрольованого об'єкта на 2048 довжинах хвиль в спектральному діапазоні 0,5...1,1 мкм.

В однакових умовах випадково змінної випромінювальної здатності методичні похибки запропонованих технологій менше похибок відомої спектральної і класичної пірометрії випромінення відповідно в 2 та 3...13 разів [4]. Дводіапазонний метод дозволяє вийти на рівень еталонних вимірювань для відтворення й передачі одиниці температури за допомогою температурних ламп з вольфрамовою стрічкою розжарювання [5].

Розроблено алгоритми обробки первинної пірометричної інформації, які виключають вплив випадкового нагрівання та запилення оптичних захисних елементів, скла (тобто змін  $\tau=f(\lambda)$  спеціальних проміжних середовищ) на результати вимірювань. Вплив нестабільного, як правило, селективного  $\tau=f(\lambda)$  супутніх проміжних газових середовищ найбільш ефективно усувається за допомогою створених фурм і насадок до них. Фурми забезпечують механічний захист і охолодження первинних пірометричних перетворювачів та фокусуєчих пристроїв, а також видаляють із тілесного кута візування пил, дим і селективно поглинаючі пари води й оксидів вуглецю.

Загалом технології захищено близько 100 вітчизняними патентами, а також 34 патентами в Австралії, Болгарії, Німеччині, Франції, Канаді, США, Швеції та Японії.

1. Атрошенко Ю.К. Повышение надежности и рабочего ресурса основных агрегатов и систем ТЭС за счет более точных оценок рабочих температур: дисс. канд. техн. наук. Специальность 05.14.14, 01.04.14. Томск, 2016. 190 С. Режим доступа <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/30611/1/dis00089.pdf>

2. Техніка вимірювань в чорній металургії. Soc. Instrum. and Contr. Eng. 1990. №6. С.508-517.

3. Жуков Л.Ф. Новые технологии температурного и экспрессного теплофизического контроля для металлургии и металлургии машиностроения. Литейное производство. 2006. №3(39). С.50-56.

4. Zhukov L., Petrenko D., Kornienko A. Investigation of thermometrical optical characteristics influence on spectral thermometry metrological characteristics. Journal of Applied Chromatography and Spectroscopy. 2018. Vol. 1, No. 2. PP. 1-12.

5. Жуков Л.Ф., Петренко Д.О. Методи опосередкованих вимірювань випромінювальної здатності та температури вольфраму і залізобуглецевих сплавів. Український метрологічний журнал. 2022. №1. С.20-27.

6. Жуков Л.Ф., Петренко Д.А., Корниенко А.Л. Многоцветовая термометрическая система для непрерывного контроля температуры металлических сплавов. Процессы литья. 2017. №6. С.54-60.

## ТЕПЛОФІЗИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ

© Леонід Жуков<sup>1</sup>, Катерина Сіренко<sup>2</sup>, Дмитро Петренко<sup>3</sup>, 2022

<sup>1</sup> Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), пров. наук. співроб. відділу моніторингу та діагностики об'єктів енергетики, д-р. техн. наук, ст. наук. співроб., zhukov@i.com.ua.

<sup>2</sup> Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна), мол. наук. співроб. відділу безперервного лиття та деформаційних процесів, thermoexp.metal@gmail.com.

<sup>3</sup> Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна), мол. наук. співроб. відділу безперервного лиття та деформаційних процесів, dima-petrenko@meta.ua.

В процесах отримання, обробки і розливання рідкого металу, крім вимірювань температури, актуальною задачею є також контроль та витримка в необхідних межах хімічного складу та пов'язаних параметрів сплавів. Так, наприклад, в структурі метрологічного забезпечення японських металургійних підприємств на засоби контролю хімічного складу припадає 5,2 % [1]. Причому, для виробництва суттєву роль відіграє можливість експресного (швидкого) виконання вимірювань по ходу технологічного процесу.

В виробничих умовах хімічний склад, структура та газовміст сплавів контролюють термографічними, рентгенофлуоресцентними, оптичними, спектральними, термоелектричними та ультразвуковими технологіями [2]. Відомі термографічні технології зазвичай обмежуються визначенням вмісту *C* та *Mn*, а також розрахунком вуглецевого еквіваленту. При цьому точність вимірювань по *C* не досяжна для інших відомих методів аналізу, а по *Si* не задовольняє вимоги виробництва. До найбільш суттєвих недоліків термоелектричних технологій відносять використання мідних гарячих електродів, разові, без статистичної обробки, вимірювання термо-ЕРС, через що результати вимірювань обтяжені випадковою складовою похибки. Також не забезпечується необхідна точність вимірювань вмісту *Mn* в чавунах і сталях. Ультразвукові технології традиційно використовуються для контролю форми графіта в чавуні. При цьому основним недоліком є низька статистична достовірність контролю (60 %).

В результаті виконаного комплексу досліджень, спрямованого на підвищення точності й експресності, а також зниження вартості контролю, розроблено технології термографічного, термоелектричного й термодинамічного експрес-контролю хімічного складу (масовий вміст елементів) та структури залізобуглецевих, а також кольорових сплавів [3].

Технологія термографічного експрес-аналізу заснована на залежностях температур фазових перетворень «ліквідус» та «солідус» від хімічного складу чавуну. Термографічний аналіз дозволяє визначати вміст наступних елементів: *C* і *Si* – в чавунах; *C* – в сталях; *Al* і *Cu* – в цинкових сплавах; *Fe*, *Al* і *Zn* – в мідних сплавах; *Si*, *Fe*, *Mg*, *Ni*, *Cu*, *Mn*, *Zn* і *Ti* – в алюмінієвих сплавах, а також наступних технологічних характеристик: ступеня модифікування; кількості неметалевих включень; пористості; об'єму усадкової раковини; протяжності границь зерен з наступною оцінкою пов'язаних з нею параметрів.

Для термографічного контролю вмісту *C* та *Si* в чавунах виготовлено установку УТГЕА-Ч. В ній реалізовано метод порівняння форми зареєстрованої термограми охолодження з референсними термограмами, отриманими раніше для сплавів з відомими хімічним складом [3]. Установка включає металеву пробницю, пробовідбірник, вторинний вимірювальний перетворювач, а також комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням. Комплектується занурюваними або наливними, одноразовими графітовими чи піщаними, або наливними багаторазовими (до 1000 проб) фарбованими металевими виливницями, термоелектричними чи оптоелектронними первинними перетворювачами. Абсолютна похибка вимірювань вмісту *C* не перевищує 0,1 %.

Термоелектричний контроль базується на залежностях термоелектричних характеристик залізобуглецевих сплавів у контакті з копелевим (*Cu-Ni*) гарячим електродом від хімічного складу сплавів [4]. Виготовлено установку УТЕА-Ч для термоелектричного визначення

вмісту  $C$ ,  $Si$  і  $Mn$ , а також вуглецевого еквівалента в чавунах. УТЕА-Ч містить гарячий (ГЕ) і холодний електроди (ХЕ), між якими розміщено досліджуваний зразок чавуну. В контактуючих зі зразком частинах електродів встановлено диференціальний термоелектричний перетворювач, підключений до входу регулятора температури, вихід якого з'єднано з нагрівачем термостату. Вимірювальний термоелектричний ланцюг «ГЕ–зразок–ХЕ» замикається через вхідний ланцюг вторинного вимірювального перетворювача (ВВП). ВВП автоматично нагріває ГЕ до робочої температури. Зразок за допомогою привідного механізму затискається між ГЕ і ХЕ. В результаті замикається вимірювальний ланцюг і згенерована термо-ЕРС вимірюється ВВП. За накопиченим об'ємом вимірювань ВВП обчислює масовий вміст  $C$ ,  $Si$  і  $Mn$ , а також вуглецевий еквівалент. Абсолютна похибка вимірювань УТЕА-Ч не перевищує 0,1 %.

Порівняно з аналогами, в УТЕА-Ч усунуто недоліки, пов'язані із застосуванням мідних гарячих електродів, а також відсутністю статистичної обробки первинної вимірювальної інформації. Спеціальна методика отримання і підготовки зразків зводить до мінімуму випадкові похибки. В результаті досліджень підтверджено більш високу, порівняно з іншими методами, в тому числі спектральним і термографічним, точність термоелектричної технології для чавунів.

В основу термодинамічної технології експрес-контролю структури сплавів покладено залежність «температуропровідність–структура». Для чавуну такою залежністю є «температуропровідність–форма графіту». Це обумовлено тим, що температуропровідність найбільш сильно залежить від форми графіту. Наприклад, при зміні ступеню сфероїдизації графіту від 30 до 70 % температуропровідність чавуну змінюється майже в 2 рази, в той час як швидкість ультразвуку в ньому – тільки на 8-10 % [2]. Таке зростання крутизни залежності вимірюваного параметра дозволяє підвищити достовірність контролю з 60 до 95 %. Розроблена установка УТЕКС-Ч термодинамічного контролю дозволяє визначати пластинчасту, вермикулярну та кулясту форму графіта в попередньо відібраних зразках чавуну або виливках.

Таким чином, розроблені технології термографічного, термоелектричного і термодинамічного експрес-контролю хімічного складу та структури металевих сплавів суттєво підвищують точність та експресність контролю, а також знижують його вартість. Перевагами термографічної технології є відсутність витратних елементів, інноваційна конструкція занурюваної пробниці, застосування алгоритмів статистичної обробки вимірювальної інформації та розпізнавання термограм охолодження відповідно до розробленого критерію. Абсолютні похибки вимірювань термоелектричної технології знижено до 0,1 %, також з'явилась можливість достовірного вимірювання вмісту 3-го елемента в чавунах –  $Mn$ . За рахунок використання залежності «температуропровідність–форма графіту» в термодинамічній технології значно, до 95 %, підвищено достовірність контролю форми графіту в чавунах.

1. *Техніка вимірювань в чорній металургії. Soc. Instrum. and Contr. Eng. 1990. №6. С.508-517.*

2. *Жуков Л.Ф. Новые технологии температурного и экспрессного теплофизического контроля для металлургии и металлургии машиностроения. Литейное производство. 2006. №3(39). С.50-56.*

3. *Жуков Л.Ф., Гончаров А.Л., Петренко Д.А., Захарченко Э.В., Сиренко Е.А. Инновационные технологии экспрессного контроля температуры и химического состава железоуглеродистых сплавов. Металл и литье Украины. 2018. №11-12. С.43-53.*

4. *Исследовать и разработать методы и средства экспрессного комплексного контроля температуры и химического состава чугунов и углеродистых сталей: Отчет НИР. / Рук. темы д.т.н. Л. Ф. Жуков. Киев: ФТИМС НАНУ, 2014. 177 С.*

## ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ПРАВ СПОЖИВАЧІВ

© Анастасія Журавська, Роман Байцар, 2022

Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), студентка кафедри інформаційно-вимірвальних технологій, студентка, [anastasiia.zhuravska.mmtias.2021@lpnu.ua](mailto:anastasiia.zhuravska.mmtias.2021@lpnu.ua)  
 Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри інформаційно-вимірвальних технологій, д.т.н., професор, [baitсар@ukr.net](mailto:baitсар@ukr.net)

Запровадження в Україні соціально-орієнтованої економіки виводить на перший план фігуру людини – громадянина, забезпечення і розуміння його прав і свобод, що є основоположною цінністю в суспільстві. На сьогодні стрімко розвиваються технології, послуги, продукція та вимоги до них, також невпинно модернізується обслуговування споживачів у різних сферах життя. У зв'язку з цим, підвищеної актуальності набувають питання захиту споживачів товарів, робіт, послуг та їх інформаційного забезпечення.

Забезпечення споживачів інформацією щодо прав та обов'язків у сфері захисту прав споживачів безпосередньо впливають на рівень споживання товарів і послуг та якість їх життя.

Рівень споживання товарів та послуг – це показник якості життя громадян. Він включає повну вартість споживаних матеріальних благ та послуг (платних, пільгових і безкоштовних), одержаних громадянами за рахунок доходів від праці, від власності, підприємницької діяльності, соціальних трансфертів. Якість життя – це узагальнююча соціально-економічна категорія, яка включає в себе поняття «рівень життя» (споживання матеріальних благ і послуг), задоволення духовних потреб, здоров'я, тривалість життя, умови середовища, яке оточує людину, морально-психологічний клімат, душевний комфорт.

З свого боку держава забезпечує гарантований рівень споживання наступним чином:

- стимулюванням виробництва товарів, виконанням робіт і наданням послуг;
- введенням у разі потреби нормованого розподілу товарів, якщо немає гарантій їх вільного придбання кожним споживачем;
- введенням компенсаційних виплат, різних видів допомоги і пільг громадянам.

Також формує систему захисту прав споживачів, що ґрунтується на статті 42 Конституції України, згідно з якою «держава захищає права споживачів, здійснює контроль за якістю і безпечністю продукції та всіх видів послуг і робіт».

Захист прав споживачів у сфері безпечності та якості харчових продуктів, інформування про їх властивості, у тому числі маркування, здійснює центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері безпечності та якості харчових продуктів – Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів (Держпродспоживслужба) [1].

Україна, одна з перших країн пострадянського простору у якій, було прийнято Закон України «Про захист прав споживачів». Проте це не виправдало усіх сподівань, а саме не стало поштовхом для винесення питання захисту прав споживачів на якісний європейський рівень. Адже, окрім прийнятих законів, необхідно створювати передумови для їх ефективного застосування й втілення в життя. Юридична обізнаність споживачів в Україні має дуже низький рівень. Усі покупці в магазинах бачать у «Кутку споживача» Закон України «Про захист прав споживачів», але найчастіше вони не зацікавлені в ознайомленні із зазначеними в ньому правами, щоб уміти користуватися ними та відстоювати свої інтереси [2].

У зв'язку з недостатньою проінформованістю активно розвиваються громадські організації, такі як: Союз споживачів України, Українська Асоціація якості, Всеукраїнська Федерація Споживачів «ПУЛЬС», і понад сотні інших. Вони безпосередньо беруть участь у вирішенні даної проблеми засоби масової інформації. Метою яких було не тільки працювати



за міжнародними правовими нормами, а формування активного, свідомого, освіченого споживача. Всебічне раціонально збалансоване задоволення потреб громадян у гармонії з навколишнім середовищем, загальнолюдськими цінностями та здоровим способом життя.

Загалом можна виділити такі основні напрями діяльності громадських організацій:

- інформаційно-просвітницька;
- юридична;
- експертиза та випробування товарів і послуг.

Незважаючи на те, що споживчим громадським організаціям належить провідна роль в інформаційному забезпеченні споживчих знань у суспільстві та його захисті, в Україні недооцінена роль громадянського суспільства. Водночас в європейській практиці успішно здійснюються заходи з державної підтримки діяльності неурядових організацій, що дає можливість ефективніше використовувати ресурси у вирішенні питань інформування, консультування, споживчої освіти, визначення загроз, моніторингу ринку, здійснення контролю за виконанням органами державної влади своїх функцій, попередження виникнення корупціогенних чинників.

Система захисту прав споживачів у європейських країнах посідає одне із провідних місць у процесі формування економічної та соціальної політики. Європейські підходи до стимулювання громадянської активності споживачів та залучення незалежних споживчих організацій постійно перебувають у центрі уваги Європейської Комісії та урядів країн ЄС. Обізнані, поінформовані і наділені реальними правами споживачі є двигуном економічних змін, їх вибір стимулює впровадження інновацій та розвиток економіки [3].

Отже, уряду слід заохочувати розробку загальних програм освіти та інформування споживачів з урахуванням культурних традицій громадян. Метою таких програм має бути забезпечення можливості громадянам діяти як освіченим споживачам, здатним зробити компетентний вибір товарів та послуг зі знанням своїх прав та обов'язків. У розробці таких програм особливу увагу необхідно приділяти потребам споживачів, що перебувають у несприятливих умовах як у сільській місцевості, так і в містах, включаючи споживачів із низьким рівнем доходів, а також малоосвічених та неосвічених. Урядові органи повинні заохочувати товариства споживачів та інші зацікавлені структури, зокрема засоби масової інформації, розробляти програми просвіти та інформування [4].

1. Про захист прав споживачів: Закон України (Відомості Верховної Ради УРСР (ВВР), 1991, № 30, ст.379). – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1023-12#Text>

2. Астрейко В. Проблеми захисту прав споживачів в Україні та шляхи їх вирішення / В. Астрейко // Незалежний аудитор [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://n-auditor.com.ua/uk/component/na\\_archive/1078?view=material](http://n-auditor.com.ua/uk/component/na_archive/1078?view=material).

3. <https://www.civic-synergy.org.ua/wp-content/uploads/2018/04/2017.ua-eu-assoc.consumer-protection.pdf>

4. Захист прав споживачів : навчальний посібник / Н. Г. Салухіна, О. М. Язвінська, О. І. Башкатова // [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://maup.com.ua/assets/files/lib/book/p09\\_28.pdf](https://maup.com.ua/assets/files/lib/book/p09_28.pdf)

## ЄВРОПЕЙСЬКІ ПІДХОДИ ДО ВИМІРЮВАНЬ, ПОВІРКИ ТА КАЛІБРУВАННЯ

© Алла Іванишин<sup>1</sup>, Олег Романчукевич<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна), к.т.н., доцент, alla.v.hunkalo@lpnu.ua,

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна), аспірант, oleh.i.romanchukevych@lpnu.ua

Вимірювання відіграють важливу роль у світовій торгівлі та важливі для захисту інтересів як виробників, так і споживачів. Точні вимірювання гарантують, що потрібні нам товари та послуги є безпечними і такими, що заслуговують довіри.

Із підписанням в 2014 році Угоди про асоціацію з ЄС Україна взяла на себе зобов'язання застосовувати міжнародні і європейські засади. Тому зараз триває процес гармонізації системи технічного регулювання з європейською системою. Відповідно це стосується і метрології, метрологічної діяльності та вимірювань. Зокрема в частині гармонізації термінів і їх визначень з Міжнародним словником з метрології [1]. Також це відображається у зміні законодавчих і нормативних вимог. Зокрема, після надання чинності Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» в 2016 р. суттєво змінилися підходи до організації та проведення повірки і калібрування ЗВТ. Виникла проблема метрологічного підтвердження ЗВТ на підприємствах. Було скасовано проведення державних приймальних і контрольних випробувань ЗВТ, метрологічної атестації ЗВТ. Тепер розділяють повірку ЗВТ у сфері законодавчо регульованої метрології і ЗВТ, які застосовують поза сферою законодавчо регульованої метрології. Такі зміни впливають на діяльність підприємств, які здійснюють вимірювання та використовують у своїй діяльності безліч різних ЗВТ.

Щодо калібрування ЗВТ, то його тепер можна проводити на підприємстві, якщо забезпечено метрологічну простежуваність еталонів та еталони відкалібровані, є методики калібрування, які враховують оцінку невизначеності вимірювань під час калібрування. При цьому не обов'язково, щоб лабораторія була акредитована відповідно до ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [2]. Калібруванню у добровільному порядку можуть підлягати ЗВТ, які застосовуються у сфері та/або поза сферою законодавчо регульованої метрології.

У документах Міжнародної організації законодавчої метрології (OIML), наприклад в ДСТУ OIML D 16:2008 [3], використовується термін «метрологічний контроль», під яким розуміють перевірку (верифікацію) ЗВТ. Цей термін також може використовуватися на підприємстві.

Стандарт ДСТУ ISO 10012 [4] встановлює вимоги щодо управління якістю системи керування вимірюванням, яку може використовувати підприємство, що виконує вимірювання, як частину загальної системи керування і для забезпечення виконання метрологічних вимог.

Існують й інші стандарти та настанови щодо конкретних чинників, які впливають на результати вимірювання, наприклад, щодо особливостей методів вимірювання, компетентності персоналу та міжлабораторного порівняння.

Отже, на підприємствах потрібно сформувати ефективну систему керування вимірюваннями з урахуванням Європейських норм, останніх законодавчих і нормативних змін в Україні, для забезпечення єдності вимірювань на всіх етапах виробництва.

1. *International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (VIM3). JCGM 200:2012 (E/F). – 91 p.*

2. *ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.*

3. *ДСТУ OIML D 16:2008 Метрологія. Принципи забезпечення метрологічного контролю (OIML D 16:1986, IDT).* 4. *ДСТУ ISO 10012:2005 Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання.*

## ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ФРУКТІВ НА ПРИКЛАДІ ГРУШ

© Ільчук Михайло<sup>1</sup>, Стадник Андрій<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), Ph.D., mykhailo.ilchuk.mmt.2019@lpnu.ua

<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), Ph.D., andrii.o.stadnyk@lpnu.ua

**Вступ та постановка проблеми.** Питання перевірки об'єктів з метою виявлення дефектів, таких як колір, подряпини, тріщини або перевірки поверхонь на належне покриття, пов'язане з візуальним контролем якості. На нашу думку використання спеціалізованого програмного забезпечення разом з іншими механізмами та залучення висококваліфікованих фахівців дозволяють отримати потужний інструмент для автоматичної швидкої перевірки якості продукції [1]. Така автоматизація надає можливість здешевити та пришвидшити виробництва при високому рівні точності встановлення якості продукту. Оскільки тут важливою умовою є дотримання неінвазивного методу.

**Метою** дослідження є розробка автоматизованої моделі візуальної перевірки якості груш, при встановленні точності більше 90% правильних висновків під час прийняття рішення про стан продукції.

**Базові положення.** Спершу встановлені критерії якості для оцінки груш, які були отримані при прямій візуальній оцінці експерта з класифікації фруктів на основі його власного досвіду. У цьому випадку категорія присвоюється залежно від значення зовнішніх атрибутів. У роботі оцінюється тільки категорія екстра, за якою груша може належати до одного з двох класів: доброї або поганої якості.

Кількість правил, визначених екпертом, становила чотири, прикладом одного правила є наступне: «Якщо груша має відповідний колір, має ніжку, має подовжені дефекти, які не перевищують 2 см, і має кілька дефектів, які не перевищують 1 см<sup>2</sup>, та мають плямисті дефекти, які не перевищують 1/4 см<sup>2</sup>, тоді груша відноситься до категорії екстра з доброю якістю.

Наприкінці наступного етапу були складені елементи за допомогою штучної нейронної мережі, заснованої на наявних методах (KBANN), щоб отримати представлення інформації, яке в подальшому можна об'єднати з числовими результатами, отриманими з системи комп'ютерного зору. Комбінація була зроблена за допомогою методу під назвою Neusim, який заснований на алгоритмі каскадної кореляції Фальмана.

Результати етапу виділення ознаки було об'єднане представлення символічного та числового представлення. Для подальшої класифікації необхідне уточнення цих даних. Це уточнення виконується шляхом повторного запуску методу Neusim, але тепер не для об'єднання знань, а для використання його як класифікатора.

Із загального набору 148 зображень 74 використано на етапі навчання та 74 на етапі розпізнавання. Для проведення експериментів було обрано три різні підходи: (а) коннекціоністський підхід, який використовує лише дані, отримані від системи комп'ютерного зору, (б) символічний підхід, який використовує лише дані, отримані із зібраних правил, і (с) NSHS, який є поєднанням коннекціоністського та символічного підходу.

**Проміжні результати.** В процесі виконання завдання під час перевірки результатів за допомогою символічного та коннекціоністського підходів можна спостерігати збої в системах комп'ютерного зору завдання, через відсутність повного опису об'єкта.

**Основні результати.** Згідно з результатами експерименту було реалізовано поставлену мету, а саме досягнуто правильності прийняття рішень у більше 90% випадках. Завданням для майбутніх досліджень є імплементація даної системи в інших галузях, оскільки в перспективі вона здатна працювати з більш широким спектром продукції.

1. Santos, J., & Rodrigues, F. (2012). Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: A review. *European Food Research and Technology*, 5(6), 989–1000.

## ПРО АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОВІРКИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ: ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

© Олег Кайдик<sup>1</sup>, Тарас Терлецький<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Луцький національний технічний університет, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, доцент, к.т.н., o.kaidyk@lntu.edu.ua

<sup>2</sup> Луцький національний технічний університет, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, доцент, к.т.н., t.terletskyi@lntu.edu.ua

Аналіз проблем, які стосуються енергозбереження, для різних галузей промисловості свідчить про те, що одним із резервів економії енергоносіїв є підвищення точності контролю витрат рідких середовищ. Поруч із цим, розроблення та впровадження будь-якого засобу вимірювань, який буде входити до складу системи контролю, потребуватиме відповідного обладнання, яке дозволить провести метрологічну повірку та атестацію самих вимірювальних перетворювачів витрат.

Будь-яка установка, що призначена для повірки витратомірів повинна бути зручною, з точки зору можливості задання значень витрат на усьому вимірювальному діапазоні перетворювача, який повіряють [1]. У той же час, межі вимірювання зразкового засобу (повірочної установки) мають бути однаковими (на практиці допустимим є незначне їх перевищення) відносно меж вимірювання перетворювача витрат, який повіряють. Зауважимо, що відношення похибки зразкових і робочих засобів вимірювань (витратомірів) не має перевищувати 1:3.

Повірку та градування витратомірів рідини прийнято здійснювати на повірочних стендах (проливних установках) [2]. Зазвичай, в основу роботи таких стендів покладено наступні методи [3]:

- імітаційний;
- об'ємний;
- масовий;
- звірення.

Імітаційний метод повірки полягає у створенні еквівалентного вихідного сигналу первинного перетворювача. При цьому, для повірки усього перетворювача використовують поелементну повірку його складових частин.

Даний метод прийнято застосовувати під час градування та повірки електромагнітних вимірювальних перетворювачів [4] в умовах масового виробництва за стабільної технології їх виготовлення.

До основних переваг цього методу варто віднести: порівняно невисоку вартість; простоту конструкції та обслуговування; високу продуктивність.

До недоліків імітаційного методу повірки відносять: вузьку спеціалізацію методу вимірювання; неможливість відтворення зовнішніх чинників, які впливають на точність результату цієї процедури; низьку точність і непередбачуваність результатів вимірювань.

Об'ємний метод передбачає у собі застосування зразкових мірних баків і запірною клапана, який працює у режимі керування «старт-стоп». Під час повірки запірною арматурою трубопроводу відкривається і, тим самим, формує рух рідини (постійно контролюють значення витрат) через витратомір, який повіряють, до мірної ємності. Після заповнення мірної ємності запірною арматурою перекривають та визначають різницю між показами лічильника, який повіряють, та об'ємом мірного бака.

Такий метод, на відміну від імітаційного, прийнято застосовувати для повірки та градування швидкісних витратомірів, які базуються на вимірюванні швидкості контролюваного потоку речовини.

Цей метод застосовують під час градування витратомірів об'ємної дії, для яких межа нормованої похибки становить не менше 2%.

Переваги методу: невисока вартість; простота конструкції та обслуговування.

Недоліки даного методу перевірки: низька точність вимірювання; непередбачуваність результатів вимірювань.

Масовий метод (метод статичного зважування) засновано на використанні зразкових ваг і запірного клапана, який працює в режимі керування «старт-стоп». Перед метрологічною перевіркою ємність зважують, після чого відкривають запірну арматуру трубопроводу й заповнюють мірну ємність рідиною, яка протікає через витратомір, який повіряють. Після заповнення ємності, її зважують повторно й визначають різницю між показами лічильника, який повіряють, та масою «пролітої» рідини.

Переваги цього методу полягають у: високій потенційній точності вимірювання нормованого потоку; швидкодії проведення вимірювань; повторюваності результатів вимірювань.

До недоліків масового методу перевірки варто віднести: збільшення похибки перетворювача витрат за рахунок прискорення і уповільнення потоку в трубопроводі; нестабільність температури, тиску і складу (термодинамічних характеристик) рідини; високу вартість конструкції за рахунок її складності; конструктивні та технологічні особливості системи відхилення потоку.

Метод звірення значень засновано на порівнянні показів перетворювача витрат, який повіряють, що володіє певною градуовальною характеристикою, із показами зразкового витратоміра. Даний метод є універсальним та набуває широкого поширення, як найбільш простий метод градуовальної перевірки витратомірів.

Цей метод прийнято використовувати під час градування витратомірів об'ємної дії, у яких нормовані межі похибки становлять не менше 1%.

Переваги методу: невисока вартість виготовлення та перевірки; можливість одночасної перевірки великої кількості витратомірів; висока адекватність результатів вимірювання.

Недоліками методу звірення є: точність вимірювань, для великого динамічного діапазону, потребує застосування окремими зразкових витратомірів; забезпечення високої точності потребує застосування зразкових витратомірів, які градууються лише для оптимальних діапазонів вимірювань; обов'язкове застосування демпфуючих пристроїв з метою заспокоєння потоку.

Враховуючи те, що, на практиці, для енергозбереження та вимірювання комерційних витрат застосовують витратоміри з приведеною похибкою не більше 2%, а також простоту та універсальність методу перевірки шляхом звірення показів із зразковим витратоміром, очевидним стає потреба у створенні зразкових витратомірів високої точності, які мають застосовуватись для метрологічної перевірки перетворювачів витрат, які повіряються, на проливних установках.

1. Панасюк В. І., Кайдик О. Л. Про зразкові засоби вимірювання та повірочні установки. Україна сьогодні: інтеграція освіти і науки (Технічний напрямок) : тези XXXVII-ї університетської студентської науково-технічної конференції. – Луцьк : ННВ Луцького НТУ, 2014 – С. 328.

2. ДСТУ EN ISO 4064-1:2018. Лічильники холодної питної води та гарячої води. Частина 1. Метрологічні та технічні вимоги (EN ISO 4064-1:2017, IDT; ISO 4064-1:2014, IDT). [На заміну ДСТУ EN ISO 4064-1:2014; чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 37 с.

3. Кайдик О. Л., Терлецький Т. В. Вплив методів перевірки на вибір моделі проливної установки. Перспективні технології та прилади: збірник статей. Випуск 7. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – С. 49-53.

4. Кайдик О. Л., Терлецький Т. В., Ткачук А. А., Пташенчук В. В. До питання технічної реалізації вузла перевірки на прикладі електромагнітного перетворювача витрат. Технічне регулювання, метрологія, якість, інформаційні та транспортні технології : матеріали Ч-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. (Одеса, 16-17 травня 2019 р.) / ред. М. О. Манзарук. – Одеса : ФОП «Бондаренко М. О.», 2019. С. 42-46.

## СИСТЕМА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ІЗ ЗАЛЕЖНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ МЕТОДОМ КОНТУРНИХ СТРУМІВ В СЕРЕДОВИЩІ LABVIEW

© Михайло Карпа, Орест Кочан, 2022

Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна),  
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, mykhailo.karpa.mmttv.2021@lpnu.ua

**Вступ.** У дисципліні Теорія електричних кіл (ТЕК) вивчають їх розрахунок методом контурних струмів (МКС). При традиційному підході кожна схема потребує індивідуального підходу. Але тут можна використати алгоритм написання системи рівнянь методом “by inspection”, що передбачає написання матриці для розрахунку без написання самих рівнянь названа Nodal and Mesh Analyses by Inspection [1]. Але там описано рішення задач лише для незалежних джерел напруги постійного струму (без джерел струму). Існує модифікований МКС [2], де кожному джерелу напруги/струму приписують свій струм/напругу, які входить у рівняння як невідомі величини. У цій модифікації можна застосувати метод «by inspection» для всіх типів кіл (на змінному струмі, із залежними джерелами). Цей підхід дає змогу автоматизувати розрахунок електричних кіл – він добре алгоритмізується.

**Мета.** На базі модифікованого МКС розробити універсальну програму з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом для розрахунку всіх типів електричних кіл.

**Основна частина.** Для реалізації універсальної програми на базі модифікованого МКС вибрано потужний і широко поширений комплекс LabVIEW [3]. Він забезпечує можливість як автономного використання програми, так і імплементацію її у програмні комплекси вищого ієрархічного рівня для опрацювання результатів сумісних і сукупних вимірювань [4].

Продемонструємо реалізацію універсальної програми на прикладі електричної схеми, поданої на рис. 1. Через обмежений обсяг обмежимося лише цим прикладом.

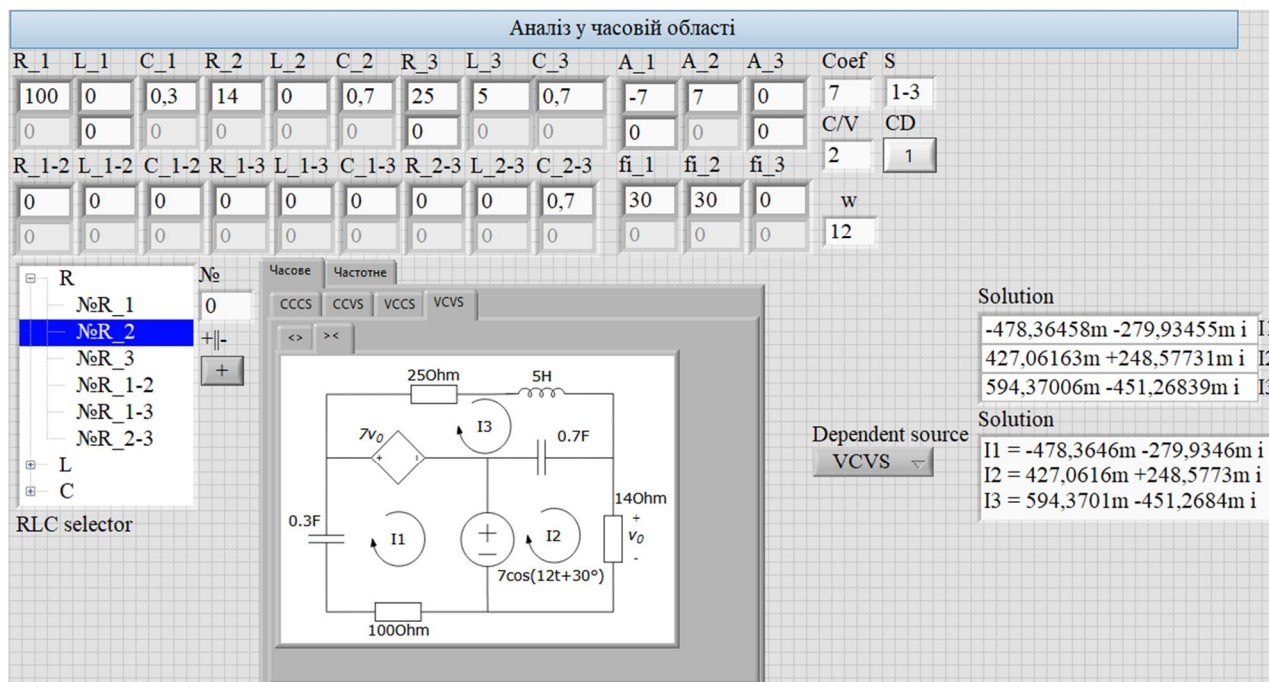


Рис. 1. Передня панель програми, яка може розв’язувати задачі із трьома контурами та залежними джерелами на постійній/змінній напрузі (часова/частотна область)

У схемі рис. 1 джерелом  $7v_0$  керує спад напруги  $v_0$  на резисторі 14 Ом. Щоб знайти невідомі контурні струми  $I_1 \dots I_3$  запишемо рівняння для кожного контуру:

для першого контуру:  $X_C(0,3F) * I_1 + U(7\cos(12t + 30^\circ)) + R(100) * I_1 + 7v_0 = 0$ ;  
 для другого контуру:  $-U(7\cos(12t + 30^\circ)) + X_C(0,7F) * I_2 - X_C(0,7F) * I_3 - R(17) = 0$ ;  
 для третього контуру:  $R(25) * I_3 + X_L(5H) * I_3 + X_C(0,7F) * I_3 - X_L(0,7F) * I_2 - 7v_0 = 0$ .

Додаткове четверте рівняння описує процес керування джерелом  $7v_0$  за спадом напруги  $v_0$  на резисторі  $14 \text{ Ом}$ :  $v_0 + R_{14} * I_2 = 0$ . Позначення  $X$  означає реактивний опір елемента тип якого (ємнісний  $C$  чи індуктивний  $L$ ) вказаний як індекс, а номінал поданий у дужках.  $R$  означає активний опір елемента, номінал якого вказаний у дужках.

Перенесемо відомі напруги незалежних джерел у праву частину і запишемо систему:

$$\begin{bmatrix} 100\Omega + X_C(0,3F) & 0 & 0 & -7 \\ 0 & 14\Omega + X_C(0,7F) & -X_C(0,7F) & 0 \\ 0 & -X_C(0,7F) & 25\Omega + X_C(0,7F) + X_L(5H) & 7 \\ 0 & 14\Omega & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ v_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -7\angle 30^\circ \\ 7\angle 30^\circ \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

На рис. 1 теж подано інтерфейс програми автоматизації обчислень, написаний у LabVIEW. Після запуску спочатку натисканням відповідної кнопки обирають тип аналізу електричного кола (у часовій чи частотній області), потім із переліку вибирають тип керованого джерела (CCCS – джерело струму кероване струмом, CCVS – джерело напруги кероване струмом, VCCS – джерело струму кероване напругою, VCVS – джерело напруги кероване напругою). На рис. 1 подано випадок VCVS – джерело напруги кероване напругою. У комірки масивів  $R$ ,  $L$ ,  $C$ \_(1..3) та  $R$ ,  $L$ ,  $C$ \_1-2, 1-3, 2-3 записуємо значення опорів, ємностей та індуктивностей, які відносяться до контурів (1, 2 та 3) та спільних елементів контурів (1-2, 1-3, 2-3) відповідно. У комірки  $A$ \_(1..3),  $f_i$ \_(1..3) та  $w$  записуємо дані про джерела напруги (амплітудне значення, кутова частота та зсув фази). Коef. це коефіцієнт керованого джерела (якщо джерело розміщене проти напрямку протікання струму у контурі, то перед коефіцієнтом ставиться мінус « - »). У комірках  $S$  (джерело) та  $C/V$  (напруга/струм) вибирають контур розташування у схемі керованого джерела та керуючий струм/напругу. Перелічені налаштування однакові для всіх керованих джерел.

Але також існує специфіка для тих джерел, що керуються напругою і тих джерел, що керуються струмом. Тому за допомогою меню RLC selector визначають тип елемента керування і його розміщення у контурі. У комірці № вказуємо порядковий номер елемента (нумерація починається з нуля), що керує джерелом, із масиву обраних у RCL selector. Перемикач «+|-», дозволяє змінювати полярність обраної напруги («+» за контурним струмом, « - » проти). Для джерел, що керуються струмом, у комірці CD вибираємо напрям протікання керуючого струму: 1 – за контурним струмом, проти 2. Розраховані контурні струми у подані у масиві «Solution».

**Висновок.** Використання модифікованого МКС дає змогу алгоритмізувати процедури написання рівнянь для контурів і матриці системи рівнянь для розрахунку електричних кіл. Перевагою є змога алгоритмізації, яка уніфікує написання самих рівнянь, усуває характерну для МКС неоднозначність вибору контурів. Недоліком є збільшення числа невідомих і числа рівнянь через врахування спадів напруг на джерелах струму. Але сучасні обчислювальні засоби дають змогу вирішувати великі системи рівнянь. На базі модифікованого МКС розроблено алгоритми та програму у LabVIEW для розрахунку електричних кіл, які містять залежні джерела. Після введення у програму номіналів компонентів електричних кіл програма автоматично формує з них систему рівнянь і виводить значення обчислених контурних струмів. У програмі є інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, тому користувачу не потрібно вивчати LabVIEW для розрахунку електричних кіл.

1. Alexander, C. K. (2013). *Fundamentals of electric circuits*. McGraw Hill.
2. 10 – Intro to Mesh Current Circuit Analysis (EE Circuits) (n.d.). Videos.mathtutordvd.com. Retrieved October 11, 2022, from <http://surl.li/dhrxu>
3. Larsen, R. W. (2011). *LabVIEW for engineers*. Pearson Higher Ed.
4. Дорожовець, М. М. та інші (2005). *Основи метрології та вимірювальної техніки*. Том 1. Львів: Львівська політехніка.

## МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ЕТАЛОННОЇ ТРУБОПОРШНЕВОЇ УСТАНОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ МІРНИКА

© Тарас Кепещук<sup>1</sup>, Денис Кепещук<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації» (Івано-Франківськ, Україна), головний науковий співробітник, кандидат технічних наук, доцент, ktv.metr77@gmail.com

<sup>2</sup>Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації» (Івано-Франківськ, Україна), інженер з метрології, denkepe@gmail.com

**Постановка проблеми.** Калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), як один із видів метрологічних робіт, що відносяться до метрологічного контролю, безпосередньо пов'язана зі встановленням та контролем метрологічних характеристик ЗВТ. Процедура проведення калібрування ЗВТ залежить від прийнятих у країні на законодавчому рівні вимог [1].

Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» калібруванню в добровільному порядку можуть підлягати засоби вимірювальної техніки, які застосовуються у сфері та/або поза сферою законодавчо регульованої метрології. Калібруванню також підлягають вторинні та робочі еталони. Калібрування та оформлення його результатів проводяться відповідно до національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології [2].

Загалом вимоги до вибирання, верифікації та валідації методик калібрування встановлює ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [3]. Відповідно до даного стандарту ці вимоги можна звести до наступних:

- рекомендовано застосовувати методики, які встановлені в міжнародних, регіональних чи національних стандартах. Також застосовуються методики, які рекомендовані авторитетними технічними організаціями, або описані у відповідній науковій літературі чи журналах, або ті, що зазначає виробник обладнання. Однак калібрувальна лабораторія повинна підтвердити, що вона може правильно застосовувати такі методики;

- калібрувальна лабораторія може самостійно розробляти або модифікувати методики калібрування, проте для застосування нестандартизованих методик необхідно підтвердити, що вони придатні і оцінені, тобто проведена процедура їх валідації.

Враховуюче те, що на велику кількість ЗВТ та еталонів на даний час відсутні методики калібрування, які встановлені у національних стандартах, питання щодо розроблення таких методик є досить актуальним.

**Мета роботи** – розробити методику калібрування еталонної трубопоршневої установки, що дасть можливість забезпечити метрологічну простежуваність від еталонів до робочих засобів вимірювальної техніки.

**Основна частина.** Загальні вимоги до побудови, викладення, оформлення та змісту методик калібрування встановлені документами регіональних метрологічних організацій, наприклад, СООМЕТ R/GM/31[4].

Під час калібрування відповідно до ДСТУ EN ISO/IEC 17025 калібрувальна лабораторія повинна ідентифікувати складові та оцінювати невизначеність вимірювання при проведенні калібрування обладнання. Основою для розроблення процедури оцінювання невизначеності вимірювань при розробленні методик калібрування може бути документ Європейської кооперації з акредитації ЕА 4/02 [5].

З урахуванням вищевказаного було розроблено методику еталонної трубопоршневої установки (компакт-прувера).

Компакт-прувер, в основному, застосовується для калібрування трубопоршневої повітряної установки, остання, в свою чергу, застосовується для перевірки перетворювачів витрати



(турбінних чи масових витратомірів), що встановлені на вузлах обліку енергоресурсів, зокрема нафти та нафтопродуктів.

Калібрування компакт-прувера може проводитися із застосуванням еталонних мірників (як правило, на воді).

Розглянемо основні розділи розробленої методики калібрування.

У розділі «Операції калібрування» наведено перелік операцій калібрування: підготовка до калібрування, проведення калібрування, оцінювання невизначеності результату вимірювання, оформлення результатів калібрування.

У розділі «Засоби калібрування» наведено перелік технічних засобів, що застосовуються при калібруванні: еталони, ЗВТ, допоміжне обладнання, а також їх основні технічні та метрологічні характеристики. Зокрема, при калібруванні компакт-прувера застосовується еталонний мірник з розширеною невизначеністю вимірювання об'єму 0,01%, а також термометри, манометри, секундомір, мірний скляний посуд, барометр та психрометр аспіраційний.

Розділ «Умови проведення калібрування» містить вимоги щодо параметрів навколишнього середовища, температури калібрувальної рідини (води), витрат рідини, при яких буде проводитися калібрування.

Розділ «Підготовка до калібрування» містить перелік робіт, що проводяться перед калібруванням та способи їх виконання.

Розділ «Проведення калібрування» встановлює методи визначення (контролю) метрологічних характеристик засобу, що калібрується, та містить процедуру проведення калібрування, схеми підключення, рисунки, вказівки про порядок проведення операцій калібрування, формули, таблиці тощо. При калібруванні компакт-прувера із застосуванням еталонного мірника місткість компакт-прувера визначається наступним чином. Робоче середовище (вода), що витісняється з компакт-прувера при русі поршня по каліброваній ділянці від одного детектора до іншого, направляється в еталонний мірник, де вимірюється її об'єм.

Розділ «Оцінювання невизначеності результату вимірювання» містить процедуру обробки результатів калібрування. У розділі наведено математичну модель вимірювання з врахуванням впливових факторів та алгоритмів їх оцінювання, бюджет невизначеності та алгоритм оцінювання невизначеності вимірювання місткості компакт-прувера при їх калібруванні.

**Висновки.** Розроблено методику калібрування еталонної трубопоршневої установки за допомогою мірника. Вказана методика пройшла апробацію та застосовується при калібруванні компакт-пруверів, що експлуатуються на об'єктах нафтогазової галузі України. Розроблення та застосування методики калібрування дало можливість забезпечити метрологічну простежуваність від еталонів до робочих засобів вимірювальної техніки, що застосовуються для обліку нафти та нафтопродуктів.

1. *Малецька О.Е. Методики калібрування: досвід розроблення та проблеми//Метрологія та прилади. -2012. – С.35-38.*

2. *Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008.*

3. *ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT). Чинний з 01.01.2021 – Київ, 2020. – 24 с.*

4. *СОOMET R/GM/31:2016 Методики калибровки средств измерений. Общие требования. Утвержден. 21.04.2016. – ВНИФТРИ, 2016. – 9 с.*

5. *EA-4/02 M:2021 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration. – Date of Implementation. 05.11.2021. – EA Laboratory Committee, 2021- 78 p.*

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ ВОД ЩОДО ЇХ ВІДПОВІДНОСТІ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ВИМОГАМ

© Альона Кисилевська<sup>1</sup>, Михайло Арабаджи<sup>2</sup>, Юрій Туганій<sup>3</sup>, Дмитро Слуценко<sup>4</sup>, 2022

<sup>1</sup>Державна установа «Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології МОЗ України» (Одеса, Україна), провідний науковий співробітник, к.т.н., ст.н.с., [kisilevskaya07@gmail.com](mailto:kisilevskaya07@gmail.com)

<sup>2</sup>Державна установа «Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології МОЗ України» (Одеса, Україна), провідний науковий співробітник, к.х.н., [amvmail1991@gmail.com](mailto:amvmail1991@gmail.com)

<sup>3</sup>Державна установа «Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології МОЗ України» (Одеса, Україна), метролог, [mrk@ukr.net](mailto:mrk@ukr.net)

<sup>4</sup>Державна установа «Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології МОЗ України» (Одеса, Україна), провідний інженер з якості, [simpeloy@gmail.com](mailto:simpeloy@gmail.com)

Набуття Україною статусу кандидати у члени Європейського Союзу допоможе Україні пришвидшити реформи, наблизившись до законодавства ЄС, та юридично закріпити проєвропейський напрямок розвитку. Не дивлячись на військові дії в країні продовжується робота з гармонізації українського та європейського законодавства і нормативної бази, зокрема, і щодо мінеральних вод (МВ). У 2021 році було затверджено Наказ Мінекономіки України [1], який частково урахує вимоги Директиви ЄС 2009/54/ЄС [2]. Більшість європейських вимог до параметрів безпечності щодо МВ наразі наведено в останній зміні № 34 – до ДСТУ 878-93 [3]. Однак не затверджено нові критерії віднесення вод до вод природних мінеральних, зокрема, вимоги щодо їх досліджень. Як і з параметрами безпечності лабораторіям з випробування МВ слід заздалегідь готуватися до впровадження нових методів дослідження МВ, які передбачають валідацію методів та розширення сфери акредитації випробувальних лабораторій.

Аналіз нормативної бази на МВ європейської та національної практики показав наявність деяких розбіжностей, зокрема, щодо вимог до фізичних, хімічних та фізико-хімічних досліджень [4]. На сьогодні за ДСТУ 878-93 [3] важливим показником є загальна мінералізація МВ. Згідно вимог Директиви ЄС 2009/54/ЄС [2], поряд з іншими показниками інформацію про загальний солевміст дають показники: сухий залишок при 180 °С і 260 °С та електропровідність або питомий опір із зазначенням вимірної температури.

Для впровадження в практику випробувальної лабораторії – Український державний центр стандартизації і контролю якості природних і преформованих засобів ДУ «Укр. НДІ медичної реабілітації та курортології МОЗ України», який акредитовано Національним агентством з акредитації України відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 [5], проведено дослідження з вибору та валідації методики визначення електропровідності МВ.

Згідно з Директивами ЄС 98/83/ЄС [6] та 2020/2184/ЄС [7] питома електрична провідність питної води не має перевищувати 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  при 20 °С, а згідно з нормативами ВООЗ – (500–1500)  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . В Україні значення електропровідності води не нормується як в мінеральних, так і в питних водах. Національного стандарту визначення електропровідності води немає. Отже нами було розглянуто та обрано міжнародний стандарт ISO 7888:1985 [8]. Цей стандарт встановлює метод вимірювання електропровідності всіх типів вод.

Електропровідність – це кількісний вираз здатності водних розчинів, зокрема, МВ, проводити електричний струм. На практиці використовується поняття питомої електричної провідності. Питома електропровідність МВ залежить від ряду факторів – розчинених в них компонентів – електролітів та їх концентрації, температури тощо. Електропровідність МВ забезпечують, головним чином, основні іони (макро-складу) –  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , які перетворюють МВ на розчини сумішей сильних і слабких електролітів. За допомогою методу вимірювання електропровідності МВ можливо контролювати її іонні складові. Електропровідність – величина, зворотна опору, яка вимірюється за певних умов у комірці визначених розмірів, яка містить платинові чи сталеві електроди [8].

Щодо застосування методики вимірювання електропровідності МВ згідно з ISO 7888:1985 [8] є особливості, зазначені в самому стандарті: на вимірне значення електропровідності може впливати забруднення проби всередині комірки; наявність зважених частинок, може викликати забруднення електродів. Як відомо, часто підземні води з джерел, свердловин містять механічні домішки водонос-

них порід, колоїдні частинки компонентів вод. Слід урахувати цей факт. Зміну сталої комірки можливо встановити застосуванням стандартного розчину хлориду калію. Стандартні зразки (калібрувальні стандарти): 84  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  та 12,88  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . У польових умовах вимірювання електропровідності МВ також слід урахувати корекції величин, виміряних при (0–25) °С. При підвищенні температури на 10 °С величина питомої електричної провідності збільшується приблизно на 2 %.

При вимірюванні значень електропровідності МВ нами використано кондуктометр лабораторний *FiveEasy F30* (Mettler Toledo, Швейцарія) з сенсорним електродом LE703, який має корекцію сталої комірки в якості інтегральної функції та обладнання щодо компенсації температури, таким чином можна отримати прямі показання значення електропровідності води. Вимірювання електропровідності проводили шляхом занурення електроду з термокомпенсатором у досліджувану пробу води.

Для середнього значення значень електропровідності МВ (538,42  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) отримали стандартне відхилення – 0,814  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , збіжність – 2,279  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , розширену невизначеність – 2,28 %. При розрахунку невизначеності враховували: параметри сталою значення комірки приладу (точність кондуктометра, невизначеність стандарту зі значенням електропровідності 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , роздільну здатність термометра, точність термометра, температурні відхилення стандартного зразка, роздільну здатність сталої комірки на дисплеї, повторюваність сталої комірки), параметри вимірювання зразка (точність кондуктометра, роздільну здатність кондуктометра, роздільну здатність термометра, точність термометра, температурні відхилення в зразку, повторюваність вимірювального зразка).

Затвердження і впровадження в практику випробувань нових параметрів вод природних мінеральних дозволить наблизити національні законодавчу та нормативну базу до європейських вимог.

1. Про затвердження Гігієнічних вимог до виробництва та обігу вод природних мінеральних і вод джерельних: наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 12.04.2021 № 741. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0657-21>

2. Directive 2009/54/EC of the European Parliament and of the council of 18 June 2009 on the exploitation and marketing of natural mineral waters (Recast). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0054>

3. Води мінеральні фасовані. Технічні умови: ДСТУ 878-93. – [Чинний від 1995-01-01].

4. Пропозиції з удосконалення процесу оцінки відповідності мінеральних вод в умовах трансформації законодавства України / А. Ю. Кисилевська, Ю. О. Рябушенко, І. В. Прокопович, Х. О. Коева // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2018. – № 4 (111). – С. 79–86.

5. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій: ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019. – [Чинний від 2021-01-01].

6. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. OJ L 330, 5.12.1998, p. 32–54. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31998L0083&qid=1667254418115>

7. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast) OJ L 435, 23.12.2020, p. 1–62. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>

8. ISO 7888:1985 Water quality. Determination of electrical conductivity.

## ROBOTIC PLATFORM FOR METEOROLOGICAL MONITORING AND DATA ANALYSIS

© Mykhailo Kvasnii<sup>1</sup>, Vladyslav Shevchuk<sup>1</sup>, Halyna Klym<sup>2,3</sup>, 2022

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), student of the Department of Specialized Computer Systems, bachelor, [michalua1@gmail.com](mailto:michalua1@gmail.com), [vladislav.vlad2@gmail.com](mailto:vladislav.vlad2@gmail.com)

<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), Professor Department of Specialized Computer Systems, Doctor of Technical Sciences, Professor, [halyna.i.klym@lpnu.ua](mailto:halyna.i.klym@lpnu.ua)

<sup>3</sup>Ivan Franko National University of Lviv (Lviv, Ukraine), Professor of the Department of Radioelectronic and Computer Systems, Doctor of Technical Sciences, Professor, [halyna.klym@lnu.edu.ua](mailto:halyna.klym@lnu.edu.ua)

The weather was decisive in the survival of people. Nowadays, the study of the weather, and especially its prediction, is an important aspect of the life of society. Modern means of collecting meteorological data mainly include weather stations, meteorological satellites, weather probes, and meteorites. All of them have both advantages and disadvantages. Intelligent robotic platforms in the form of drones are often used to collect and analyze meteorological data. Such meteorodrones are more flexible and cheaper to use, and their main advantage is the ability to collect data without being tied to a specific location [1]. More accurate forecasts require a lot of data from different areas and, preferably, in real-time. Drones, unlike weather stations, can provide this, in addition, they can be used in cases where it is difficult to use the services of meteorologists.

Many scientists are researching robotic platforms for collecting meteorological data. UAVs can provide high-quality in situ observations of a variety of meteorological variables with high temporal and vertical resolution, and using Raman lidar can provide temperature and humidity profiles with high temporal and vertical resolution in the troposphere [2]. Research has been conducted using an enhanced mobility drone to develop a unified sensor and communication system as a new platform for in situ atmospheric measurements [3]. The main in-situ data base for numerical weather prediction currently relies on radiosonde and airliner observations, with large data gaps above the oceans and in polar regions. These gaps might possibly be patched by measurements with drones, which provide a significant improvement towards environmentally friendly additional data, but so far have not been regarded as a feasible alternative of performing measurements in the upper troposphere [4].

Taking into account the peculiarities of predicting weather conditions using modern methods, several main problems can be identified:

- uneven coverage by measuring stations;
- discreteness of observations in time;
- processes that are difficult to describe with mathematical equations;
- calculation of available indicators.

Reducing errors when collecting information from the environment will improve the results of processing these values in the future, and obtaining these indicators in real-time will allow measurements to be performed at any moment in time. It is obvious that such a system will not be able to completely solve the problems described above for meteorology in general. However, it will allow you to have actual weather parameters of a certain limited area, which will allow you to adjust actions. Such a system can be useful for farmers, builders, military, or other narrow specialists. It is proposed to develop a system that will allow collecting, processing, and storing weather indicators of a limited area of the territory in real-time from universal drones. The main task of the system is to display data for further processing.

The system should rely on data collected from drones. It has to be configurable and scalable according to the needs of the user. In addition, it shouldn't be tied to a specific place, like a weather

station, because it has to collect information from drones. A relational database (DB) should be used to store data. And Realtime Database is used to display data in real-time. Web application connects user with the database. Thus, there is no direct connection between the database and the Realtime Database, which helps to avoid recording unnecessary information. The system should also support other configurations and display capabilities. Final system will consist of several modules that can be quickly modified.

The drone is based on ESP32 board, which has enough computing power, ports supports a large number of data communication protocols, and it's comparably cheap and widely used. The Drone uses BMP680 sensor for data collection, which is an accurate and cheap solution. Drone uses GPS and inertial and ultrasonic sensors, it should be able to navigate in space and make routes according to the given coordinates, and through the communication module, it can directly transmit the collected data to the server.

The drone has 2 control modes: through web application; The user can be in any part of the world. The drone is connected to the Internet via Wi-Fi; directly via Wi-Fi; Drone is connected to a computer or phone; Data is transmitted to the server via the GSM module.

Through the web application, the user is able to control the drone, set waypoints for the route, and look at the collected data. To control the drone, you can use a game controller, that connects to a computer or phone. The collected information is transferred to the Realtime Database, and after processing, it will end up in Firestore Database, which is a data storage with great productivity, security, and flexible analysis tools.

Through the developed web application, the user can control the drone, set the points for the route, the time and date when the measurements are to be taken and have access to the collected data. By the authorization system, each drone is tied to a user, and the data it collects is labeled accordingly. Added integration with an external API – OpenWeather, which allows you to compare collected data with data collected by weather stations. The drone has a direct control mode for which a game controller is used. The controller must be connected to a computer or phone, and then run the web application. High-precision sensors are used for data collection.

The result of the work is a system capable of measuring and processing weather indicators in a limited area of space in real-time. In this way, we will be able to form a database of historical data that will allow us to conclude climatic changes, as well as partially solve the problems of uneven coverage by weather stations and the discreteness of data in time. The number of simultaneous users and the strict attachment to the data format remains unresolved.

A Geiger counter can be added to the drone's sensors to increase the number of measured indicators and to improve the autonomous capabilities of the drone, the ultrasonic sensors can be replaced with lidars. Expanding integration with external APIs, increasing the number of users, and completely delinking from the format of incoming data – all will increase the capabilities of the web application.

Designed system for collecting meteorological data, in the form of a quadcopter, which will transmit the collected data in real-time to a server for their systematization and further use through a web application. The structure of the meteorological data collection system has been proposed. The proposed system is based on data collected from drones and isn't tied to a specific place. The system supports authorization and authentication, as well as integration with the OpenWeather API.

1. "How drones are helping with weather forecasting." Droneblog. <https://www.droneblog.com/how-drones-are-helping-with-weather-forecasting/> (accessed Oct. 31, 2022).

2. Leuenberger, D., Haefele, A., Omanovic, N., Fengler, M., Martucci, G., Calpini, B., ... & Rossa, A. (2020). Improving high-impact numerical weather prediction with lidar and drone observations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(7), E1036-E1051.

3. Madokoro, H., Kiguchi, O., Nagayoshi, T., Chiba, T., Inoue, M., Chiyonobu, S., ... & Sato, K. (2021). Development of Drone-Mounted Multiple Sensing System with Advanced Mobility for In Situ Atmospheric Measurement: A Case Study Focusing on PM<sub>2.5</sub> Local Distribution. *Sensors*, 21(14), 4881.

4. Bärffuss, K. B., Schmithüsen, H., & Lampert, A. (2022). Drone-based meteorological observations up to the tropopause. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 1-26.

## ВІДТВОРЕННЯ ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ГУСТИНИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ ВИСОКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ

© Світлана Ковтун<sup>1</sup>, Віталій Щенетов<sup>2</sup>, Сергій Харченко<sup>3</sup>, 2022

<sup>1</sup> Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), провідний науковий співробітник відділу моніторингу та діагностики об'єктів енергетики, д.т.н., ст. докл., dep4\_ize@ukr.net

<sup>2</sup> Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), провідний науковий співробітник відділу моніторингу та діагностики об'єктів енергетики, д.т.н., проф., dep4\_ize@ukr.net

<sup>3</sup> Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), старший науковий співробітник відділу моніторингу та діагностики об'єктів енергетики, к.т.н., vrkk@ukr.net

Сучасний стан науково-технічного розвитку енергетичного обладнання значною мірою визначається досягненнями в області розробки та застосування нових матеріалів і технологій. Зокрема, ефективність роботи котлоагрегатів визначається передусім надійністю та тривалістю експлуатації їхніх складових, які працюють в екстремальних умовах – за високих температур, агресивних середовищ, інтенсивного зносу тощо.

Метою роботи є встановлення способу відтворення одиниці вимірювання поверхневої густини теплового потоку високої інтенсивності для калібрування засобів вимірювання, що можуть бути використані при дослідженні теплофізичних властивостей нових матеріалів.

Формування потоку теплового випромінювання в діапазоні значень ( $1 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^5$ ) Вт/м<sup>2</sup> можливе за використання джерела теплової енергії з температурою на поверхні тіла випромінювання не менше 650...1100 К. Такою характеристикою володіють високотемпературні моделі абсолютно чорного тіла та лампи розжарювання.

Як джерело теплової енергії для формування високоінтенсивного теплового випромінювання обґрунтовано застосування галогенних ламп розжарювання. Конструктивно вони являють собою циліндричну колбу з кварцу, по осі якої змонтовано спіральне тіло розжарювання з вольфрамового дроту. Перевагами галогенних ламп розжарювання є стабільність енергетичних характеристик випромінювання, відносно невеликі розміри, механічна та термічна стійкість. Це дозволяє запропонувати виконання вимірювальної комірки теплового блоку у вигляді замкнутого простору, утвореного двома дифузними випромінювальними поверхнями: джерела та стоку теплової енергії, а також захисного екрану, що складається з чотирьох плоских поверхонь з дзеркальним відбиттям [1]. Застосування дзеркальних поверхонь екрану дозволить зменшити ослаблення інтенсивності потоку теплового випромінювання, що є важливим фактором при забезпеченні верхньої межі частині діапазону, що розглядається.

Для встановлення однорідності поля потоку теплового випромінювання на поверхні тепловідводу необхідно визначити розподіл значень поверхневої густини теплового випромінювання. Вихідною величиною, що характеризує поле випромінювання, є інтенсивність випромінювання, яка є функцією координат та напрямку розповсюдження випромінювання та характеризує процес перенесення енергії випромінюванням. Математична модель теплового поля, що описує процес переносу енергії випромінюванням представлена у вигляді векторного поля [2], яке у загальному випадку запишеться як:

$$\nabla(I(\mathbf{r}, \mathbf{s})s) + (k + a)I(\mathbf{r}, \mathbf{s}) = c\eta \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\chi}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\mathbf{r}, \mathbf{s}') \Phi(\mathbf{s}, \mathbf{s}') d\Omega,$$

де  $\mathbf{S}$  – вектор, в напрямку якого розглядається випромінювання;  $\mathbf{s}'$  – напрямок розсіювання енергії випромінювання;  $a$  – коефіцієнт поглинання;  $\eta$  – показник заломлення;  $I$  – інтенсивність випромінювання, яка залежить від положення точки в об'ємі середовища та від напрямку, в якому розглядається потік випромінювання;  $T$  – локальна температура точки в об'ємі середовища;  $\Phi$  – фазова функція (індикатриса розсіювання);  $\Omega$  – тілесний кут, в межах якого розглядається потік енергії випромінювання.

В лівій частині рівняння другий доданок визначає ступінь ослаблення інтенсивності випромінювання в напрямку  $S$  за рахунок процесів поглинання та розсіювання радіаційної енергії. В правій частині рівняння перший член враховує підсилення інтенсивності випромінювання за рахунок випромінювання середовища, а другий член з підінтегральною функцією показує внесок радіаційної енергії з інших напрямків  $S$  внаслідок розсіювання випромінювання.

Граничні умови до рівняння задаються у вигляді зв'язку значень інтенсивності випромінювання у точках граничної поверхні з радіаційними характеристиками поверхні. Інтенсивність ефективного випромінювання поверхні, що розповсюджується у напрямку внутрішньої нормалі до поверхні, дорівнює сумі власного випромінювання поверхні до відбитого від неї випромінювання. Відбите випромінювання виражається через падаюче випромінювання, тобто через інтенсивність випромінювання, яке надходить до точки поверхні зі всіх напрямків  $s'$  у межах тілесного кута, де розглядається потік енергії випромінювання, з боку випромінюючого об'єму.

В даній роботі для визначення інтенсивності перенесення енергії теплового випромінювання застосовано метод дискретних ординат (DO – discrete ordinates), в якому проводиться не лише просторова, а й кутова дискретизація рівняння перенесення випромінювання. За такого методу весь кутівий простір розбивається на ряд тілесних кутів, в межах яких інтенсивність випромінювання вважається постійною. Метод дискретних ординат було реалізовано із застосуванням програмного комплексу ANSYS.

В результаті моделювання отримано розподіл значень вектору швидкості руху внутрішнього середовища, який свідчить про наявність невимушеної конвекції в області розташування джерела теплової енергії, але на поверхні тепловідводу в зоні розташування сенсорів теплового потоку конвективна складова теплообміну відсутня. Визначення розподілу теплового потоку по поверхні тепловідводу виконано при варіації відстані між джерелом теплового випромінювання та теплосприймальною поверхнею тепловідводу при фіксованих розмірах ширини порожнини, що зумовлене конструктивними особливостями застосованих ламп розжарювання. Отримані дані свідчать, що значення потоку теплового випромінювання в центральній зоні тепловідводу при висоті захисного екрану 170 мм сягають  $187 \text{ кВт/м}^2$ , а з наближенням до бічних поверхонь випромінювача зменшуються до  $165 \text{ кВт/м}^2$ . При цьому, нерівномірність розподілу теплового поля на поверхні тепловідводу становить 10%, а в центральній зоні обмеженій  $0,8L$  нерівномірність не перевищує 2%, що є задовільним результатом. Результати розрахунку для варіанту висоти екрану 150 мм показують, що інтенсивність теплового поля на поверхні тепловідводу зростає до  $190 \text{ кВт/м}^2$ , але при цьому зростає і нерівномірність його розподілу, що призводить до зменшення розмірів робочої зони. В той же час, за висоти екрану 190 мм може бути забезпечений найбільш рівномірний розподіл поля теплового випромінювання, але отриманий рівень інтенсивності не дозволяє реалізувати одиницю вимірювання у верхній частині діапазону відтворюваних значень.

Для верифікації результатів комп'ютерного моделювання проведено експериментальні дослідження розподілу поверхневої густини потоку теплового випромінювання на поверхні тепловідводу. Дослідження виконано із застосуванням багатосекційного сенсора теплового потоку, чутлива зона якого складається з 11 секцій. В результаті отримано цілком задовільну узгодженість даних комп'ютерного моделювання з експериментальними. Так, відносне відхилення чисельної моделі не перевищило 3%.

1. Бабак, В.П., Ковтун, С.І., Хайдуров, В.В., Щербак, Л.М. (2018). Моделювання процесу теплообміну в замкненій системі з дзеркальними та дифузними поверхнями. *Наукоємні технології*, 38(2), с. 76-87. DOI: <http://dx.doi.org/10.18372/2310-5461.38.12832>.

2. Адрианов, В. Н. Основы радиационного и сложного теплообмена / В. Н. Адрианов. – М. : Энергия, 1972. – 464 с.

## УТОЧНЕННЯ ПОХИБКИ ПРИ КОРОТКОТРИВАЛИХ СТАТИСТИЧНИХ ВИМІРЮВАННЯХ

© Зеновій Колодій, 2022

Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, д.т.н., доцент, zenovii.o.kolodii@lpnu.ua

Згідно теоретичних положень, якщо результати статистичних вимірювань є незалежними, то дисперсія  $D_X$  середнього значення повинна зменшуватись із збільшенням кількості серій вимірювань  $N$  як  $D_X = \frac{\sigma_x^2}{N}$ , де  $\sigma_x$  – середньоквадратичне відхилення (СКВ) однієї серії вимірювань. Тобто, у випадку незалежності результатів вимірювань випадкову похибку вимірювань, яка характеризується дисперсією  $D_X$  або СКВ  $\sigma_{cp} = \sqrt{D_X} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}}$ , можна звести до як-завгодно малого значення, збільшуючи кількість серій вимірювань  $N$ .

Однак збільшення  $N$  пов'язане із збільшенням тривалості вимірювань  $T_m$ , а умова незалежності результатів вимірювання не враховує однозначно зміну самої вимірювальної величини за час  $T_m$ . На великих інтервалах вимірювання реальні фізичні величини змінюються в часі, а відтак порушується статистична стійкість середнього значення вимірювань [1].

Очевидно також, що при статистичних вимірюваннях параметрів реальних об'єктів сумарна тривалість вимірювання не повинна перевищувати характерний час, протягом якого значення вимірюваного параметра зміниться на величину, більшу за похибку вимірювального приладу. Тобто, у реальному випадку кількість серій незалежних вимірювань  $N$  обмежена і значення  $\sigma_{cp}$  не може бути як завгодно малим.

Представлено результати моделювання статистичних вимірювань та аналіз СКВ середнього значення результатів вимірювань. Аналіз СКВ дає підстави стверджувати, що загальноприйняті теоретичні моделі для СКВ можна використовувати для результатів вимірювань параметрів об'єктів, які знаходяться у рівноважному стані. Для оцінки результатів вимірювань параметрів об'єктів, які є у стаціонарному нерівноважному стані необхідно враховувати додаткову похибку  $\Delta\sigma$  від тривалості вимірювання  $T_m$ . Аналіз результатів моделювання показав, що СКВ середнього значення параметрів об'єктів, які перебувають у нерівноважному (термодинамічно-нерівноважному) стані зменшується із збільшенням  $T_m$  до рівня, яке визначається його значенням при умові рівноважного стану об'єкта досліджень. Крім того СКВ залежить від ступеня відхилення об'єкта досліджень від рівноважного стану: чим далі від стану рівноваги є об'єкт досліджень, тим більшим є значення СКВ, особливо при малих  $T_m$ .

Загальний вираз для СКВ середнього значення параметрів об'єктів, які перебувають у стаціонарному нерівноважному стані містить дві складові: перша складова – СКВ середнього значення параметрів об'єкта, який перебуває у рівноважному стані (мінімальне значення); друга складова є в обернено пропорційній залежності від тривалості вимірювання  $T_m$  і часу релаксації  $\tau$  [2], а також від ширини спектра  $\Delta f$  сигналу і залежить від його форми.

1. Gorban I., “Evaluation of statistically unpredictable changes in physical quantities over large observation intervals”, *Journ. Techn. Phys.*, 2018, vol.88, iss.12, p.1779-1786.
2. Kolodiy Z. A. and Mandziy B. A. “Calculation of Flicker Noise Power”, *Automatic Control and Computer Sciences*, 2016, Vol. 50, No. 1, pp. 15–19.



## ЕТАЛОННА УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВІРКИ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ В ДІАПАЗОНІ ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ ДО 6500 М<sup>3</sup>/ГОД

© Олег Коржак<sup>1</sup>, Денис Середюк<sup>2</sup>, Юрій Пелікан<sup>3</sup>,  
Олександр Бас<sup>4</sup>, Роман Мануляк<sup>5</sup>, Володимир Шевчук<sup>6</sup>, 2022

ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» (Івано-Франківськ, Україна)

<sup>1</sup>генеральний директор, ifstandartmetrology@gmail.com

<sup>2</sup>начальник центру наукового забезпечення вимірювань, к.т.н., sdo.if05@gmail.com

<sup>3</sup>начальник науково-дослідної лабораторії, yura.pelikan@gmail.com

<sup>4</sup>провідний науковий співробітник, к.т.н., alexandr.sanya@gmail.com

<sup>5</sup>науковий співробітник, manulyakroman@gmail.com

<sup>6</sup>інженер з метрології, volodymyr.shevchuk.ua@gmail.com

Фахівцями ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» в рамках виконання ініціативної науково-дослідної роботи розроблено, виготовлено та успішно впроваджено еталонну установку для проведення повірки лічильників газу в діапазоні об'ємної витрати газу від 0,1 м<sup>3</sup>/год до 6500 м<sup>3</sup>/год з розширеною невизначеністю  $U \leq 0,3 \%$ .

Необхідність створення такої установки продиктована невпинним збільшенням кількості лічильників газу із внутрішнім діаметром до 300 мм, які застосовують для обліку газу на газорозподільних та компресорних станціях ТОВ «Оператор ГТС України» та АТ «Укртрансгаз», вузлах обліку теплопостачаючих підприємств (ТЕС), гірничо-збагачувальних та сталеварних комбінатів. Також, актуальність застосування такої установки для повірки лічильників газу пов'язана із введенням в обіг на ринку України нових типів лічильників, які містять, в тому числі, пристрої перетворення об'єму газу і здійснюють корекцію та приведення об'єму газу.

Принцип установки побудований на порівнянні приведенного до стандартних умов об'єму газу, який облікував еталонний лічильник із об'ємом, вимірним дослідним лічильником, який повіряється. В якості еталонних лічильників в установці застосований набір турбінного, двох роторних та барабанного лічильників. Що стосується роторних лічильників, то в установці встановлені лічильники Delta S–Flow та IRM DUO. Лічильник Delta S–Flow являє собою роторний лічильник з двома трилопатеви́ми роторами, кожна лопатка яких розміщена під кутом 120 градусів одна відносно іншої і зміщена на 60 градусів по довжині. Така конструкція дозволяє повністю уникнути резонансних явищ, характерних для роторних лічильників із звичайними вісімкоподібними роторами. Аналогічно, специфіка роботи лічильника IRM DUO базується на застосуванні принципу гасіння амплітуди коливань тиску від роботи роторів за умови створення умови протифазної компенсації. Суть його полягає в наступному. Внутрішня вимірювальна камера лічильника розділена на дві однакові частини, в кожній з яких розташована пара однотипних звичайних вісімкоподібних роторів. Обидві пари роторів закріплені на одній вісі, але із радіальним кутовим зміщенням на кут 45°, завдяки чому пульсації тиску від роторів «зустрічаються» на виході вимірювальної камери лічильника у протифазі і таким чином взаємокомпенсуються. Слід зазначити, що аналогічні еталонні лічильники мають багаторічну практику застосування в якості еталонів порівняння при передаванні одиниць об'єму та об'ємної витрати газу і калібруванні повірочних установок в межах України.

Градувальна характеристика кожного еталонного лічильника апроксимується поліномом другого порядку виду:

$$\delta_N(q) = A_{-2}q^{-2} + A_{-1}q^{-1} + A_0 + A_1q^1 + A_2q^2 \quad (1)$$

де  $A_i$  - коефіцієнти апроксимаційного полінома, які визначаються за результатами калібрування;  $q$  – об'ємна витрата.

Лічильники підібрані таким чином, щоб їхні динамічні діапазони взаємоперекривалися.

Тобто із застосуванням програмного забезпечення установки є можливість проведення діагностичних вимірювань з метою постійного контролю стабільності метрологічних характеристик установки.

Конструктивно в установці застосований принцип «найменшого опору». Тобто, в установці не передбачено застосування громіздких демпферів або інших «зайвих» елементів, які можуть створювати додаткові гідравлічні опори або ж збільшувати втрати тиску. Крім того, конструкцією передбачено дві паралельні прямі ділянки (Ду 300 мм та Ду 200 мм) для монтажу лічильників, які повіряються, а також набір вертикальних під'єднань для лічильників роторного типу. Це, в свою чергу, дає можливість відсікати додатковий приєднаний об'єм прямої ділянки Ду 300 мм під час проведення повірки лічильників із внутрішніми номінальними діаметрами до Ду 200 мм. Також, секція еталонних лічильників сконструйована шляхом з'єднання трубопроводів без «прямих кутів» для зменшення додаткових втрат тиску та формування відповідного профілю потоку газу. Для створення та забезпечення стабільного потоку повітря застосовано два частотно-регульованих відцентрових вентилятори із різним значенням об'ємної витрати, які працюють в режимі розрідження потоку. Загальний вигляд еталонної установки наведений на рис. 1.



Рис. 1 Еталонна установка для проведення повірки лічильників газу в діапазоні об'ємної витрати газу від 0,1 м<sup>3</sup>/год до 6500 м<sup>3</sup>/год

Програмне забезпечення еталонної установки містить обов'язкові вимоги нових методик повірки на лічильники газу турбінного, роторного, ультразвукового типів та лічильники із вбудованими пристроями перетворення, які містяться в національних стандартах ДСТУ 9033 [1], ДСТУ 9034 [2], ДСТУ 9036 [3] та ДСТУ 9037 [4]. Зокрема, передбачено формування електронного протоколу повірки із збереження необхідних первинних даних. Також передбачений розрахунок контрольної суми параметрів налаштування програми, яке має вплив на метрологічні характеристики, зокрема: коефіцієнти перетворення еталонних лічильників та параметри калібрування вимірювальних перетворювачів, що входять у склад еталона.

Для розробленої установки передбачене перспективне застосування для проведення серії різноманітних випробувань лічильників газу в рамках проведення оцінки відповідності вимогам Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки.

1. ДСТУ 9033:2020 Метрологія. Лічильники газу турбінні. Методика повірки.
2. ДСТУ 9034:2020 Метрологія. Лічильники газу роторні. Методика повірки.
3. ДСТУ 9036:2020 Метрологія. Лічильники газу ультразвукові. Методика повірки.
4. ДСТУ 9037:2020 Метрологія. Лічильники газу з вбудованими пристроями перетворення об'єму. Методика повірки.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ФРОНТАЛЬНОГО ТА ЕКВІВАЛЕНТНОГО ОБ'ЄМІВ ЛАБОРАТОРНИХ ЕТАЛОННИХ МІКРОФОНІВ НА ЕТАЛОНІ НДЕТУ AUV-03-2019

© Олександр Костеров<sup>1</sup>, Іванна Бубела<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Державне підприємство «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем»

(ДП НДІ «Система», Львів, Україна), начальник сектора, Ph.D., kostеров@dndi-systema.lviv.ua

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка”, Ph.D., кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, ДП НДІ «Система» (Львів, Україна), учений секретар, Ph.D., vs@dndi-systema.lviv.ua, ivanna.v.bubela@lpnu.ua

Мета роботи – оцінення впливу непевності визначання фронтального та еквівалентного об'ємів лабораторних еталонних мікрофонів на непевність калібрування за тиском цих мікрофонів на еталоні НДЕТУ AUV-03-2019.

Відтворення одиниці звукового тиску в повітряному середовищі на Національному (державному первинному) еталоні України НДЕТУ AUV-03-2019 проводять шляхом калібрування еталонних лабораторних мікрофонів типу LS1P або LS2 абсолютним методом взаємності відповідно до вимог ДСТУ ІЕС 61094-2:2009 [1].

Аналіз бюджету непевності вимірювань під час калібрування мікрофонів показав, що одними із найбільших складових непевності результатів цього процесу є непевності величин фронтального та еквівалентного об'ємів еталонних мікрофонів [2].

Фронтальний об'єм мікрофону – це об'єм повітря, який знаходиться в порожнині перед діафрагмою мікрофона. Внаслідок впливу багатьох факторів, фронтальний об'єм мікрофону не дорівнює геометричному об'єму порожнини перед діафрагмою мікрофона. Еквівалентний об'єм діафрагми мікрофону – це об'єм газу (повітря), який має ту саму гнучкість (або імпеданс), що і діафрагма [3].

Вимірювання об'ємів мікрофонів на еталоні НДЕТУ AUV-03-2019 відбувається за допомогою методу, який приведено в [1] (п. Е.4). Суть методу полягає в тому, що оскільки чутливість мікрофона не залежить від розмірів камери малого об'єму (КМО), яка акустично зв'язує мікрофони під час калібрування, тоді за використання кількох КМО, під час розрахунку чутливості, значення фронтального та еквівалентного об'ємів мікрофона змінюють до тих пір, доки не отримають найбільш близькі між собою значення чутливості мікрофону для вимірювань на всіх КМО.

Проте, необхідно відзначити, що методи, які представлено в [1], дають змогу визначити лише сумарний об'єм мікрофона, тобто суму його фронтального та еквівалентного об'ємів, і не вказують методу його розділення на складові частини.

Отже запропоновано та впроваджено методику визначання фронтального та еквівалентного об'ємів лабораторних еталонних мікрофонів на еталоні НДЕТУ AUV-03-2019 [2]. Експериментальні дослідження підтвердили, що стандартна непевність визначання фронтального об'єму мікрофонів типу LS1P становить 3,0 мм<sup>3</sup>, мікрофонів типу LS2 – 0,5 мм<sup>3</sup>, стандартна непевність визначання еквівалентного об'єму мікрофонів типу LS1P не перевищує 4,0 мм<sup>3</sup>, а для мікрофонів типу LS2 вона не перевищує 1,0 мм<sup>3</sup>.

Складова стандартної непевності калібрування мікрофонів на еталоні НДЕТУ AUV-03-2019, яка виникає внаслідок таких значень непевності визначання фронтального та еквівалентного об'ємів для мікрофонів типу LS1P не перевищує 0,008 дБ, а для мікрофонів типу LS2 вона не перевищує 0,015 дБ.

1. ДСТУ ІЕС 61094-2:2009 *Електроакустика. Мікрофони вимірювальні. Частина 2. Первинне калібрування за тиском лабораторних еталонних мікрофонів методом взаємності (ІЕС 61094-2:2004, IDT)*.

2. ДШВК 407629.001 МК «Методика калібрування за тиском вимірювальних мікрофонів на державному первинному еталоні НДЕТУ AUV-03-2019 в діапазоні частот від 2 Гц до 25 кГц» (ДП НДІ «Система», м. Львів)

3. G. S. K. Wong, T. F. W. Embleton: *AIP Handbook of Condenser Microphones. Theory, Calibration, and Measurements (American Institute of Physics, New York 1995)*

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕСТУВАННЯ СТАНУ ЕЛЕКТРОДІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Орест Кочан<sup>1</sup>, Олена Раюк<sup>2</sup>, Владислав Богатирчук<sup>2</sup>, Андрій Гром'як<sup>2</sup>, Володимир Кочан<sup>3</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор, orest.v.kochan@lpnu.ua

<sup>2</sup>Західноукраїнський національний університет (Тернопіль, Україна), студенти кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління

<sup>3</sup>Західноукраїнський національний університет (Тернопіль, Україна), професор кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління, к.т.н., професор, volodymyr/kochan@gmail.net

Поширені при вимірюванні температур 600-1100°C термоелектричні перетворювачі на базі термопар (ТП) [1] мають широкий діапазон вимірювання, простоту і міцність. Недоліки ТП – деградація при тривалій експлуатації при високих температурах проявляють себе як дві похибки [2]: а) від дрейфу функції перетворення (ФП); б) від набутої термоелектричної неоднорідності – зміни ФП ТП при зміні профілю температурного поля вздовж її електродів. Метод корекції поточної похибки ТП [3] підвищує точність і збільшує строк її експлуатації. Але зростає небезпека руйнування ТП (катастрофічної відмови). Через характер похибки ТП та вплив домішок на швидкість деградації похибка ТП у цілому погано відображає стан її електродів. Тому розроблено метод тестування електродів ТП під час експлуатації [4]. **Метою** роботи є моделювання процесу тестування стану електродів ТП під час експлуатації.

Метод [4] реалізується термоелектричним перетворювачем з керованим профілем температурного поля (ТЕП з КПТП) [5]. На рис. 1 подано зміщення профілю температурного поля, яке формує ТЕП з КПТП при діагностуванні стану електродів його головної ТП. Профіль температурного поля при діагностиці поступово змінюється від ABCD до AB2C2D, (проміжні температурні поля подані штриховими лініями). Кожній зміні профілю відповідає віртуальна ділянка електродів ТП (на рис. 1 позначені як 1, 2 – k) та її похибка від дрейфу її ФП  $\Delta E_1^{DR} \dots \Delta E_{k+1}^{DR}$ . При зміні профілю температурного поля ділянки 1, 2 ... (прилягають до В...В2), по одній виходять із зони градієнту (перестають, за законом Зеебека [1], генерувати термо-е.р.с., а тоді їх похибки  $\Delta E_1^{DR} \dots \Delta E_{k+1}^{DR}$  перестають впливати на термо-е.р.с. ТП). На місце ділянок, що вийшли із зони градієнту, у неї потрапляють ділянки, що прилягають до зон С... С2 (вони не деградують бо експлуатуються при температурі вільних кінців).

За результатами вимірювань можна скласти систему рівнянь

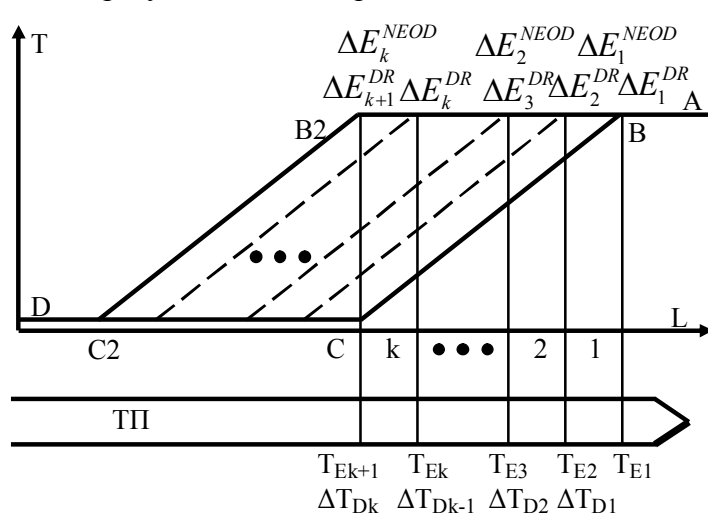


Рис. 1. Зміни профілю температурного поля при діагностуванні стану електродів ТП

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^k (E_i^{POCH} + \Delta E_i^{DR}) = E_1^{VYM} \\ \dots \\ \sum_{i=k}^k (E_i^{POCH} + \Delta E_i^{DR}) = E_k^{VYM} \end{cases} \quad (1)$$

де  $E_i^{POCH}$ ,  $\Delta E_i^{DR}$  – початкова термо-е.р.с. і дрейф  $i$ -тої ділянки ТП;  $E_1^{VYM} \dots \Delta E_k^{VYM}$  – результати виміру термо-е.р.с. ТП при тестуванні у всіх  $k$  профілях температурного поля.

Рішення (1) дає змогу визначити  $\Delta E_i^{DR}$  ділянок ТП. Порівнявши їх із

значеннями  $\Delta E_{DOSLi}^{DR}$ , отриманими при дослідженні однотипних ТП у аналогічних умовах експлуатації, можна виявити ділянки, які деградують швидше за інші. Коли  $\Delta E_i^{DR}$  ділянки ТП наближається до критичного значення, необхідна заміна ТП (імовірність катастрофічної відмови). При цьому сумарна похибка ТП, за рахунок меншого дрейфу інших ділянок, може не перевищувати значень, характерних для інших ТП.

Моделювання методу тестування електродів ТЕП з КППП передбачає такі операції:

1. Ввести температури експлуатації і тестування кінців 8-ми зон головної ТП, обчислити їх середню температуру та її зміни під час тестування, а також згенерувати 1000 реалізацій матриці випадкових похибок  $\Delta E_{8x8}$  при вимірюванні температури цих зон.

2. Ввести номінальну питому термо-е.р.с.  $e_{N8x1}$  і закон її зміни від температури експлуатації  $\Delta e = f(T_{EXP})$ , за яким обчислити зміну питомої термо-е.р.с. ділянок  $\Delta e_{8x1}$  та дійсну питому термо-е.р.с. кожної ділянки  $e_{8x1} = (e_{N8x1} + \Delta e_{8x1})$ .

3. Розрахувати термо-е.р.с. у 8 полях за п.1 як  $E_{8x1} = \Delta T_{8x8} * e_{8x1}$ , а також Додати термо-е.р.с. ділянок  $E_{8x1}$  до похибок  $\Delta E_{8x8}$  їх вимірювання  $(E_{8x1} + \Delta E_{8x8})$ .

4. Вирішити систему рівнянь  $(\Delta T_{8x8} + dT_{8x8}) \bar{e}_{8x1} = (E_{8x1} + \Delta E_{8x8})$ , де  $dT_{8x8}$  різниці температур зон, відносно питомих термо-е.р.с.  $\bar{e}_{8x1}$ , які отримуємо при діагностуванні для 1000 реалізацій  $\Delta E_{8x8}$  та різниць температур зон  $(\Delta T_{8x8} + dT_{8x8})$ .

5. Знайти похибки визначення питомої термо-е.р.с. ділянок  $\bar{e}_{8x1} - e_{8x1}$  для всіх значень  $\bar{e}_{8x1}$ .

6. Провести моделювання похибки ділянок для всіх комбінацій випадкової похибки вимірювання різниці температур зон  $0 \dots 10^\circ\text{C}$  та вимірювання термо-е.р.с.  $0 \dots 20 \mu\text{V}$ .

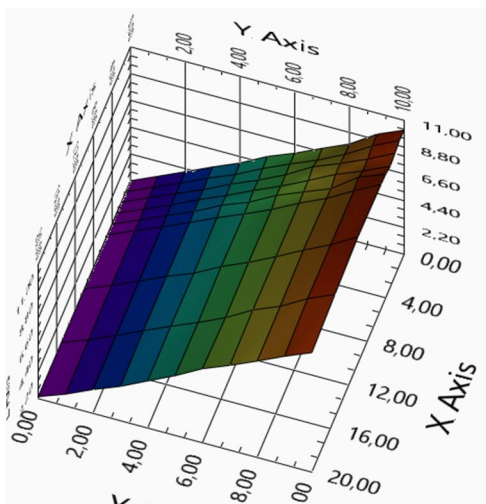


Рис. 2. Залежності дисперсії похибки визначення питомої термо-е.р.с.

В результаті моделювання побудовано поверхню (рис. 2) залежності дисперсії похибки визначення питомої термо-е.р.с. ділянок ТП (вісь Z, °C) від похибки вимірювання термо-е.р.с (вісь X, 20 мкВ) та похибки вимірювання температури зон (вісь Y, 10°C). Відхилення середнього значення  $\bar{e}_{8x1} - e_{8x1}$  для 1000 реалізацій не перевищує 0,05 мкВ, тобто метод практично не має систематичної похибки.

Перевагою даного методу тестування стану електродів ТП є простота реалізації, можливість визначення та прогнозу стану ділянок електродів ТП при експлуатації, можливість прогнозу генерованої термо-е.р.с. в різних температурних полях, а також відсутність необхідності використання еталонного обладнання.

1. Webster, J. G. (1999). The Measurement, Instrumentation, and Sensors: Handbook. CRC Press.

2. Su Jun, O. Kochan. The Mechanism of the Occurrence of Acquired Thermoelectric Inhomogeneity of Thermocouples and its Effect on the Result of Temperature Measurement. Measurement Techniques. – 2015. – Volume 57. – Issue 10. – P. 1160-1166.

3. Пат. 102981 Україна, МПК G01K 7/02. Спосіб корекції похибки головної термопары / О.В.Кочан, Р.В.Кочан; власники заявники. – № а201213268; заявл. 21.11.2012; опублік. 10.08.13, Бюл. № 16.

4. Пат. 104952 Україна, МПК G01K 13/00. Спосіб самодіагностики термопар на місці експлуатації та пристрій для його реалізації / О.В.Кочан; власник заявник. № а201213269; заявл. 21.11.2012, опублік. 27.08.13, бюл. № 16 від 27.08.2013.

5. Пат. № 97464 Україна, МПК G01K 15/00. Термоелектричний перетворювач / Кочан О.В., Кочан Р.В. – заявл. 22.02.2007.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОЧНОЇ ПОХИБКИ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Орест Кочан<sup>1</sup>, Олена Раюк<sup>2</sup>, Владислав Богатирчук<sup>2</sup>, Андрій Гром'як<sup>2</sup>, Володимир Кочан<sup>3</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор, orest.v.kochan@lpnu.ua

<sup>2</sup> Західноукраїнський національний університет (Тернопіль, Україна), студенти кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління

<sup>3</sup> Західноукраїнський національний університет (Тернопіль, Україна), професор кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління, к.т.н., професор, volodymyr/kochan@gmail.net

При вимірюванні температур 500 – 1100°C у промисловості найбільш розповсюджені термоелектричні перетворювачі (ТЕП) [1]. Їх недолік – деградація електродів при тривалій експлуатації, що проявляє себе як: а) дрейф функції перетворення (ФП) – для типу К до 6,5°C за 1000 годин при 800°C [2]; б) похибка від набутої термоелектричної неоднорідності [2] при зміні профілю температурного поля – до 11 °C за 1000 годин при 800°C [3].

Відомі методи корекції похибок ТЕП вимагають визначення поточної похибки на місці експлуатації [3] або у лабораторії [1]. У [4] запропоновано метод, що не вимагає еталонів, а лише сталої температури робочого кінця при калібруванні. Він: а) не дає змоги проявитися похибці від набутої неоднорідності; б) забезпечує визначення поточної похибки ТЕП при експлуатації. Метод реалізує ТЕП з керованим профілем температурного поля (ТЕП з КПТП) [5], що забезпечує зміну профілю температурного поля вздовж електродів термопар (ТП).

Дослідження методу [4] проведемо шляхом імітаційного моделювання у Excel. Слід:

1. Розбити електроди на  $i = 100$  ділянок – від 0°C (вільні кінці) до 800°C (робочий кінець).

2. Задати профілі температурних полів експлуатації ТП у вигляді сигмоїд і відрізків прямих.

3. Провести аналіз впливу на термо-е.р.с. ТП похибок від дрейфу ФП їх ділянок і від набутої термоелектричної неоднорідності при переміщенні профілю температурного поля при заданому законі зміни питомої термо-е.р.с. від температури експлуатації. Для цього:

3.1 Розрахувати (у 10 профілях температурного поля) номінальні та дійсні термо-е.р.с., що генеруються кожною ділянкою електродів ТП та ТП у цілому. При цьому номінальна питома термо-е.р.с. ділянок  $e_i$ , а її зміну від дрейфу  $\Delta e_i$  приймаємо наступною

$$\Delta e_i = AT_{EKS_i} + BT_{EKS_i}^2, \quad (1)$$

де  $T_{EKS_i}$  – температура постійної експлуатації ділянки;  $A = 0,0025$ ,  $B = 2 \cdot 10^{-6}$  – коефіцієнти, підібрані так, щоби сумарна похибка ТП  $\approx 11^\circ C$  [2, 3];

3.2 Розрахувати похибки від дрейфу ділянок ТП як різниці між термо-е.р.с., що генерується ТП у кожному профілі температурного поля та її номінальною термо-е.р.с.

$$E_i^{NOM} = e \cdot (T_{i+1} - T_i), \quad E_i^{REAL} = (e + \Delta e_i) \cdot (T_{i+1} - T_i), \quad (2)$$

де  $E_i^{NOM}$ ,  $E_i^{REAL}$  – номінальна та дійсна термо-е.р.с. ділянки при температурах  $T_{i+1}, T_i$ .

3.3 Розрахувати похибки від дрейфу ФП ТП  $\Delta E_j^{DR}$  як суми викликаних деградацією відхилень термо-е.р.с. від номінальної, що генерують ділянки ТП у поточному профілі температурного поля, профіль якого розміщений від  $i = i_p$  до  $i = i_k$

$$\Delta E_j^{DR} = \sum_{i=i_p}^{i_k} \Delta e_i. \quad (3)$$

3.4 Розрахувати похибки від набутої термоелектричної неоднорідності ТП  $\Delta E_j^{NEOD}$  як різниці між сумою викликаних деградацією відхилень термо-е.р.с. від номінальної, що генерують ділянки ТП у профілі температурного поля експлуатації, та сумою викликаних деградацією відхилень термо-е.р.с. від номінальної, що генерують ділянки ТП у поточному профілі температурного поля

$$\Delta E_j^{NEOD} = \sum_{i=0}^{100} \Delta e_i - \sum_{i=i_p}^{i_k} \Delta e_i . \quad (4)$$

3.5 Розрахувати для кожного профілю температурного поля суму абсолютних значень похибок від набутої неоднорідності (за п. 3.3) та від дрейфу ФП ТП (за п. 3.2).

Отримані у п. 3.5 значення похибок від набутої термоелектричної неоднорідності та від дрейфу ФП ТП для кожного профілю температурного поля у як виді сигмоїд, так і у виді відрізків прямих з різними параметрами, подані на рис. 1.

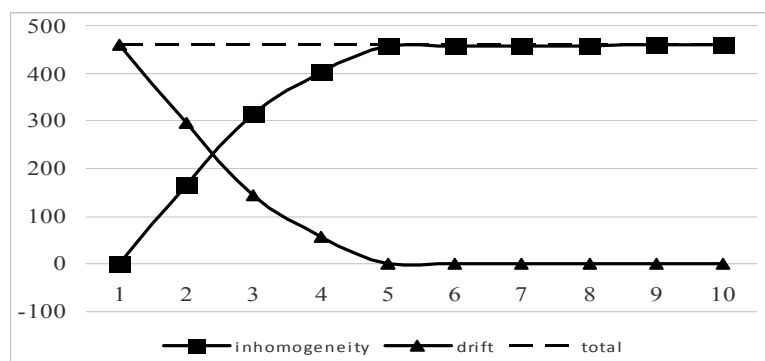


Рис. 1. Зміни похибок від набутої термоелектричної неоднорідності та від дрейфу ФП ТП для кожного профілю температурного поля у виді сигмоїд та у виді відрізків прямих

Проведені дослідження дають можливість зробити наступні висновки: а) при зміщенні зони градієнту температурного поля у бік вільних кінців, проходить поступове «витіснення» похибки від дрейфу ФП ТП (початок із 452 мкВ, рис. 1) похибкою від набутої неоднорідності (початок з нуля); б) сума абсолютних значень цих похибок залишається сталою (пунктирна лінія); в) максимальні абсолютні значення похибок від дрейфу і від неоднорідності рівні між собою; г) сума абсолютних значень цих похибок рівна їх максимальним значенням в будь-якому температурному полі; д) визначена методом [4] похибка ТП не залежить від форми профілю температурного поля в зоні опорної ділянки; е) результат визначення похибки ТП не залежить від виду функції похибки від температури; д) метод, запропонований у [4], правильно відображає тісний зв'язок між похибками від дрейфу ФП ТП та від набутої термоелектричної неоднорідності як проявів одного процесу деградації електродів ТП.

1. Park, R.M. (ed.) (1993). Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement. ASTM International.

2. Su Jun, Kochan O. (2015). The mechanism of the occurrence of acquired thermoelectric inhomogeneity of thermocouples and its effect on the result of temperature measurement. Measurement Techniques, 57 (10), 1160-1166.

3. Васильків, Н. (2010). Підвищення точності вимірювання температури термopарамі в процесі експлуатації. (Кандидатська дисертація). Львів.

4. Shu, C., Kochan, O. (2013). Method of thermocouples self verification on operation place. Sensors & Transducers, 160 (12), 55-61.

5. Jun, S., Kochan, O., Chunzhi, W., Kochan, R. (2015). Theoretical and experimental research of error of method of thermocouple with controlled profile of temperature field. Measurement science review, 15 (6), 304-312.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА ОСНОВІ НОВОГО ТЕРМОМЕТРИЧНОГО МАТЕРІАЛУ $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$

© *Володимир Крайовський*<sup>1</sup>, *Марія Рокоманюк*<sup>1</sup>, *Наталя Лужецька*<sup>1</sup>, *Володимир Ромака*<sup>1</sup>,  
*Володимир Пашкевич*<sup>1</sup>, *Юрій Стадник*<sup>2</sup>, *Любов Ромака*<sup>2</sup>, *Андрій Горинь*<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), e-mail: vkrayovskyu@ukr.net

<sup>2</sup> Львівський національний університет ім. І. Франка (Львів, Україна), stadnyku@gmail.com

Представлено результати моделювання та експериментальні дослідження структурних, термодинамічних, електрокінетичних, енергетичних та магнітні властивості чутливих елементів перетворювачів температури на основі нового термометричного матеріалу  $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ ,  $x=0-0.10$ . Моделювання електронної структури  $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$  проведено методами KKR (пакет програм AkaiKKR) та FLAPW (пакет програм Elk). Для перевірки меж існування термометричного матеріалу  $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$  методом KKR розраховано зміну значень періоду комірки  $a(x)$ . Встановлено, що заміщення у позиції  $4a$  атомів Lu на атоми V веде до зменшенні значень періоду елементарної комірки  $a(x)$ . При цьому у  $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$  генеруються структурні дефекти донорної природи, оскільки атоми V ( $3d^34s^2$ ) володіє більшим числом  $d$ -електронів, ніж Lu ( $5d^16s^2$ ). Для встановлення енергетичної доцільності існування термометричного матеріалу  $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$  у рамках теорії функціоналу густини DFT проведено моделювання зміни ентальпії змішування  $\Delta H_{mix}(x)$ . Невисокі значення  $\Delta H_{mix}(x)$  та характер поведінки свідчать про енергетичну вигоду заміщення у позиції  $4a$  атомів Lu на V.

При моделюванні механізмів електропровідності  $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$  розглянуто різні моделі кристалічної та електронної структур. Показано, що у LuNiSb рівень Фермі  $\varepsilon_F$  лежить посередині забороненої зони  $\varepsilon_g$ , а її ширина рівна 190.5 меВ. Моделювання DOS для упорядкованого варіанту структури  $\text{Lu}_{0.875}\text{V}_{0.125}\text{NiSb}$  показує зменшення ширини зони  $\varepsilon_g$ , рівень Фермі  $\varepsilon_F$  наближається до краю зони провідності. У припущенні, що структура  $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$  упорядкована, за допомогою пакету програм Elk проведено моделювання розподілу густини електронних станів DOS для  $\text{Lu}_{0.875}\text{V}_{0.125}\text{NiSb}$ .

Рентгенівський фазовий аналіз зразків  $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$  засвідчив відсутність слідів домішкових фаз, окрім основної фази, а мікрозондів аналіз концентрація атомів на поверхні зразків встановив їхню відповідність складам шихти. Рентгеноструктурні дослідження  $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$  виявили екстремум на залежності зміни періоду елементарної комірки  $a(x)$ , що дозволяє припустити, що атоми V, уведені у матрицю фази LuNiSb, можуть одночасно займати різні позиції, генеруючи при цьому структурні дефекти донорної і/або акцепторної природи. Формування таких дефектів та їхнє співвідношення (ступінь компенсації) дозволяє прогнозовано впливати на механізми електропровідності чутливих елементів та їхню стабільність у широкому температурному діапазоні

На температурних залежностях питомого електроопору  $\ln(\rho(1/T,x))$  та коефіцієнта термоерс  $\alpha(1/T,x)$  чутливих елементів за усіх концентрацій  $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$  присутні високотемпературні активаційні ділянки. Це є свідченням того, що досліджені зразки чутливих елементів є легованими та компенсованими напівпровідниками [1]. Наявність високотемпературної активації на залежностях  $\ln(\rho(1/T,x))$   $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$  вказує на розташування рівня Фермі  $\varepsilon_F$  у забороненій зоні  $\varepsilon_g$ . Для зразків з концентраціями  $x=0-0.07$  рівень Фермі  $\varepsilon_F$  лежить поблизу валентної зони  $\varepsilon_V$ , про що свідчать додатні значення коефіцієнта термоерс  $\alpha$  за високих температур. За концентрацій  $x>0.07$  рівень Фермі  $\varepsilon_F$  перемістився до зони провідності  $\varepsilon_C$ , на що вказують від’ємні значення коефіцієнта термоерс  $\alpha$  за всіх температур.

*І. Ромака В.А., Стадник Ю.В., Крайовський В.Я., Ромака Л.П., Гук О.П., Ромака В.В., Микійчук М.М., Горинь А.М. Новітні термочутливі матеріали та перетворювачі температури. – Львів: Львівська політехніка, 2020. – 612 с.*



## СТАТИСТИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВІБРОШУМОВИХ СИГНАЛІВ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ КРИВИХ ПІРСОНА

© Юрій Куц<sup>1</sup>, Михайло Мислович<sup>2</sup>, Леонід Щербак<sup>3</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського (Київ, Україна), ORCID ID:

<https://orcid.org/0000-0002-8493-9474>

<sup>2</sup>Інститут електродинаміки НАН України (Київ, Україна)

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6245-7917>

<sup>3</sup>Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна),

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1536-4806>

Забезпечення надійної і безпечної подальшої експлуатації діючих об'єктів електроенергетики, які на сьогодні відпрацювали понад 80% свого нормативного ресурсу, є однією з пріоритетних проблем економіки України. Часткове, але з необхідною складовою, вирішення цієї актуальної і важливої проблеми базується на використанні технічних систем моніторингу і діагностики об'єктів електроенергетики як сучасних апаратно-програмних комплексних засобів вимірювань, контролю, ідентифікації, діагностики з елементами штучного інтелекту. Із всієї сукупності значної кількості завдань, аналізу результатів науково-технічних публікацій, в тому числі [1, 2, 4, 5, 6], для вирішення вказаної проблеми в даній доповіді розглянемо наступне завдання.

**Постановка завдання.** На основі аналізу формування віброшумових сигналів об'єктів електроенергетики необхідно обґрунтувати математичну модель сигналу, визначити характеристики статистичної ідентифікації як інформаційного ресурсу об'єкта з метою оцінювання його фактичного стану.

**Основний зміст доповіді.** Метод дослідження віброшумового сигналу є методом неруйнівного дослідження функціонуючого об'єкта електроенергетики. Віброшумовий сигнал є:

- інтегрованою сумою великої сукупності стохастичних елементарних імпульсних впливів різної фізичної природи – вібраційних, теплових, електромагнітних та інших;
- інтегрованим інформаційним ресурсом функціонування об'єкта електроенергетики.

Теоретичним підґрунтям опису фізичного механізму формування сигналу є центральна гранична теорема про збіжність закону розподілу ймовірностей суми незалежних випадкових величин за кількості складових суми  $n \rightarrow \infty$ , згідно якої граничний закон розподілу є безмежно подільним, частинними випадками якого є гауссовий (нормальний) і пуассонівський, а в загальному випадку – комбінації їх різних варіантів.

Таким чином віброшумовий сигнал об'єкта електроенергетики в стаціонарному режимі роботи можна описати випадковим просторово-часовим вібраційним полем. Природно, що сенсорні засоби вимірювань можуть перетворювати механічні вібрації такого випадкового поля в обмеженому просторовому об'єкті і обмеженому часовому інтервалі спостережень, як правило, в електричний струм або напругу. Розглянемо одновимірний випадок, коли сенсорний перетворювач просторово закріплений в одній точці об'єкта досліджень є одноканальним по виходу. Тоді згідно з методами формуючих лінійних фільтрів, білого шуму, породжуючого процесу, оновлюючого процесу, стохастичних інтегральних представлень вихідний сигнал сенсорного перетворювача вібрацій описується лінійним стаціонарним випадковим процесом виду [3, 5]

$$\xi(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t - \tau) d_{\tau} \eta(\omega, t), \quad \omega \in \Omega, t \in T, \quad (1)$$

де  $\varphi(t)$  – імпульсна перехідна функція формуючого фільтра,  $\eta(\omega, \tau)$  – однорідний випадковий процес з незалежними приростами,  $\eta'(\omega, \tau)$  – узагальнена похідна процесу  $\eta(\omega, \tau)$ .

Таким чином лінійний стаціонарний випадковий процес виду (1) є випадковим процесом кольорового шуму, сформованим лінійним формуючим фільтром при вхідному

стаціонарному процесі білого шуму і є математичною моделлю віброшумового сигналу, що формується об'єктом електроенергетики.

Використання моделі (1) підтвержене результатами теоретичних і експериментальних досліджень [4, 5, 6].

Ефективним методом статистичної ідентифікації віброшумових сигналів є статистичне оцінювання законів розподілу ймовірностей сигналу за експериментальними даними вимірювань з подальшим їх згладжування на основі систем кривих Пірсона. Ця система базується на використанні 13 типів згладжуючих кривих, що дає змогу оцінити поточний фактичний стан досліджуваних об'єктів електроенергетики і відповідно виявляти зміни його стану, обумовлені дефектами вузлів, засобів електрообладнання об'єкта, що виникають в процесі моніторингу його функціонування.

В основі його запропонованого методу використання системи кривих Пірсона покладено диференційне рівняння виду

$$\frac{d \ln p(x)}{dx} = \frac{x - a}{b + cx + dx^2}, \quad (2)$$

де  $p(x)$  – апроксимуюча крива щільності закону розподілу, а числові величини  $a$ ,  $b$ ,  $c$  і  $d$  визначаються першими чотирма моментами досліджуваного сигналу.

Всі можливі варіанти рішення диференціального рівняння (2) мають 13 типів розподілу в залежності від значень числових величин  $a$ ,  $b$ ,  $c$  і  $d$ . Метод статистичної ідентифікації полягає в наступному. Згладжування кривими Пірсона оцінок емпіричних розподілів (гістограм) проводиться обчисленням числових величин  $a$ ,  $b$ ,  $c$  і  $d$  з використанням оцінок чотирьох перших моментів часових рядів даних вимірювань віброшумового сигналу при функціонуванні досліджуваного об'єкта електроенергетики.

Для отримання типу кривих Пірсона за експериментальними даними вимірювань можна скористатись алгоритмічно-програмним забезпеченням, наведеним в роботі [5].

**Висновок.** Запропонований метод статистичної ідентифікації віброшумових сигналів об'єктів електроенергетики з метою використання інформаційного ресурсу об'єкта для статистичного оцінювання його фактичного стану відноситься до неруйнівних методів дослідження функціонування об'єктів. Використання цього методу дає можливість проведення поточного моніторингу роботи об'єкта, а ідентифікація законів розподілу віброшумових сигналів з застосуванням системи кривих Пірсона є ефективним інструментарієм визначення як фактичного стану об'єкта, так і відповідного виявлення дефектів, відмов елементів і засобів електрообладнання цього об'єкта.

1. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. *Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення. Технічна електродинаміка. 2010. №6. – С. 44–50.*

2. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. *Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні // Технічна електродинаміка. – 2012. – №5. – С. 52–67.*

3. Марченко Б.Г., Щербак Л.Н. *Линейные случайные процессы и их приложения. – Киев: Наук. думка, 1975. – 143 с.*

4. Марченко Б.Г., Мыслович М.В. *Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин. – Киев: Наукова думка. 1992. – 196 с*

5. Бабак С.В., Мыслович М.В., Сысак Р.М. *Статистическая диагностика электро-технического оборудования. К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2015.*

6. Мыслович М.В., Сысак Р.М. *Про деякі особливості побудови інтелектуальних багаторівневих систем технічної діагностики електроенергетичних об'єктів. Технічна електродинаміка. – 2015. – №1. – С. 78–85. 456*

## МЕТРОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ТЕРМОАНЕМОМЕТРА

© Віталій Малісевич<sup>1</sup>, Орест Середюк<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>ДП „Івано-Франківськстандартметрологія” (Івано-Франківськ, Україна),  
головний метролог, к.т.н., vitaliy\_malisevych@ukr.net

<sup>2</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Івано-Франківськ, Україна),  
завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки, д.т.н., професор, mivt@nung.edu.ua

Для вирішення завдання визначення енергетичної цінності плинних потоків природного газу можна використовувати термоанемометричний витратомір, який дає змогу при вимірюванні об'єму або витрати природного газу одночасно опосередковано визначати його теплоту згорання. Вимірювання енергетичної цінності природного газу здійснюється на підставі відомого значення теплоти згорання газу за інформацією з блоку для визначення коефіцієнта тепловіддачі термоанемометричного перетворювача (ТАП). Цей коефіцієнт визначається не тільки якісними характеристиками робочого середовища, витратою газу, що омиває чутливий елемент, але і конструктивними параметрами ТАП.

Як відомо, коефіцієнт тепловіддачі ТАП залежить від багатьох параметрів, серед яких геометричні розміри чутливого елемента ТАП, електричний опір та струм, що проходить через нього, температура робочого середовища.

В узагальненому вигляді алгоритм визначення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  можна записати у вигляді [1]:

$$\alpha = \frac{I_D^2 R_D}{\pi d_D l_D \left( \frac{R_D + (4rl_D/\pi d_D^2) \cdot (kT_c - 1)}{4krl_D/\pi d_D^2} - T_r \right)}, \quad (1)$$

де  $I_D$  – електричний струм, що проходить через ТАП;  $R_D$  – електричний опір ТАП;  $l_D$ ,  $d_D$  – довжина і діаметр чутливого елемента ТАП;  $T_c$ ,  $T_r$  – температура газу за стандартних і робочих умов;  $k$  – температурний коефіцієнт опору;  $r$  – питомий опір матеріалу дроту ТАП.

Незважаючи на те, що в (1) відсутні значення конкретних параметрів середовища і режими омивання чутливого елемента, ця формула може бути використана для опосередкованого визначення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  для конкретних умов функціонування термоанемометра. Наприклад, такими можуть бути наявність чи відсутність потоку або певні якісні характеристики газу. Оскільки при функціонуванні ТАП є можливим безпосереднє вимірювання електричного опору і струму через чутливий елемент, то стає можливою реалізація опосередкованого методу визначення коефіцієнта тепловіддачі. Тому актуальними є метрологічні дослідження щодо впливу похибки засобів вимірювання цих параметрів на сумарну стандартну невизначеність при розрахунку коефіцієнта  $\alpha$ .

Метрологічні дослідження термоанемометричного витратоміра з використанням теорії невизначеності розглянуті нами в [1], однак доцільним є проведення аналізу з використанням іншої методології, наприклад, методом Монте-Карло.

Метою даної публікації є висвітлення досліджень щодо розрахунку невизначеності методом Монте-Карло експериментального знаходження коефіцієнта тепловіддачі ТАП.

Метод Монте-Карло передбачає, що повинні бути відомими закони розподілу результатів вимірювання вхідних параметрів, до яких відносяться вимірювання струму і електричного опору, а також геометричних розмірів ТАП. Зазвичай при вимірюванні опору і струму застосовується оцінювання невизначеності за типом А, яке переважно подається нормальним законом розподілу результатів вимірювання. Поряд з цим, при оцінюванні невизначеності вимірювання геометричних розмірів чутливого елемента ТАП може бути здійснена оцінка їх точності вимірювання за рівномірним або трикутним законом розподілу. Для оцінювання законів розподілу

при вимірюванні лінійних розмірів немає однозначності у їх виборі. У зв'язку з цим при моделюванні доцільно здійснити розрахунок оцінювання невизначеності коефіцієнта  $\alpha$  за таких двох варіантів вибору закону розподілу при вимірюванні геометричних розмірів. Також доцільно промоделювати невизначеність за різних значень похибки засобів вимірювання електричного струму і опору.

Стандартну невизначеність  $u_\alpha$  визначення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  розраховували за методом Монте-Карло згідно рекомендацій [2]. При цьому використовувалися такі попередньо вибрані оцінки значень вхідних величин для робочих умов функціонування ТАП:  $I_D=0,1$  А,  $R_D=3,78$  Ом,  $d_D=30 \cdot 10^{-6}$  м,  $l_D=0,01$  м,  $T_T=303,15$  К.

Таблиця 1

**Результати моделювання невизначеності обчислення коефіцієнта  $\alpha$  методом Монте-Карло при зміні похибки визначення струму**

| $\delta I_D, \%$ | Рівномірний закон розподілу       |  |  | Трикутний закон розподілу         |  |  |
|------------------|-----------------------------------|--|--|-----------------------------------|--|--|
|                  | $u_\alpha, \text{Вт/м}^2\text{К}$ | $\alpha_{\min}, \text{Вт/м}^2\text{К}$ | $\alpha_{\max}, \text{Вт/м}^2\text{К}$ | $u_\alpha, \text{Вт/м}^2\text{К}$ | $\alpha_{\min}, \text{Вт/м}^2\text{К}$ | $\alpha_{\max}, \text{Вт/м}^2\text{К}$ |
| 0,1              | 0,1245                            | 112,2152                               | 113,3304                               | 0,1244                            | 112,1991                               | 113,3569                               |
| 0,2              | 0,1801                            | 111,8790                               | 113,5559                               | 0,1801                            | 111,9366                               | 113,6136                               |
| 0,3              | 0,2462                            | 111,5084                               | 113,8954                               | 0,2462                            | 111,6537                               | 113,9674                               |
| 0,4              | 0,3161                            | 111,2770                               | 114,2144                               | 0,3168                            | 111,2287                               | 114,2548                               |
| 0,5              | 0,3887                            | 110,8741                               | 114,4299                               | 0,3891                            | 110,9732                               | 114,6126                               |

Таблиця 2

**Результати моделювання невизначеності обчислення коефіцієнта  $\alpha$  методом Монте-Карло при зміні похибки визначення опору**

| $\delta R_D, \%$ | Рівномірний закон розподілу       |  |  | Трикутний закон розподілу         |  |  |
|------------------|-----------------------------------|--|--|-----------------------------------|--|--|
|                  | $u_\alpha, \text{Вт/м}^2\text{К}$ | $\alpha_{\min}, \text{Вт/м}^2\text{К}$ | $\alpha_{\max}, \text{Вт/м}^2\text{К}$ | $u_\alpha, \text{Вт/м}^2\text{К}$ | $\alpha_{\min}, \text{Вт/м}^2\text{К}$ | $\alpha_{\max}, \text{Вт/м}^2\text{К}$ |
| 0,1              | 0,2335                            | 111,5993                               | 113,8980                               | 0,2331                            | 111,7265                               | 113,9141                               |
| 0,2              | 0,2385                            | 111,5208                               | 113,8994                               | 0,2382                            | 111,6296                               | 113,9516                               |
| 0,3              | 0,2467                            | 111,5661                               | 113,8928                               | 0,2464                            | 111,5675                               | 113,9544                               |
| 0,4              | 0,2578                            | 111,3909                               | 113,9506                               | 0,2574                            | 111,6419                               | 114,0660                               |
| 0,5              | 0,2713                            | 111,3897                               | 114,1232                               | 0,2707                            | 111,5918                               | 114,1528                               |

За результатами моделювання встановлено, що при збільшенні похибки вимірювання електричного струму від 0,1 до 0,5 % зростання сумарної стандартної невизначеності коефіцієнта  $\alpha$  при рівномірному законі розподілу становить 0,2642 Вт/м<sup>2</sup>К і 0,2647 Вт/м<sup>2</sup>К при трикутному законі розподілу результатів вимірювання геометричних розмірів ТАП (діаметр, довжина), тобто зростає більш як в три рази. В той же час, при зростанні похибки вимірювання електричного опору від 0,1 до 0,5 % спостерігається зростання сумарної стандартної невизначеності коефіцієнта  $\alpha$  на 0,0378 Вт/м<sup>2</sup>К при рівномірному та на 0,0376 Вт/м<sup>2</sup>К при трикутному законі розподілу, тобто близько до 16 %.

Наведені результати досліджень вказують на несуттєву зміну значення отримуваних невизначеностей при застосуванні різних рекомендованих у літературі законів розподілу імовірностей результатів вимірювання геометричних розмірів, що на практиці дозволяє використовувати будь-який із досліджуваних законів розподілу. Також спостерігається суттєва зміна сумарної невизначеності при застосуванні засобів вимірювання струму з різними похибками і суттєво меншим є цей вплив при вимірюванні електричного опору.

1. Малісевич В.В., Середюк О.Є. Метрологічний аналіз визначення коефіцієнта тепловіддачі термочутливого парціального витратоміра при оцінці теплоти згоряння природного газу. Методи та прилади контролю якості. 2014. № 1 (32). С. 64-71.

2. Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method. JCGM 101:2008. 90 p.

## **IMPROVEMENT AND HARMONIZATION OF NATIONAL MILITARY STANDARDS TO NATO STANDARDS IN THE FIELD OF CONTROL SYSTEMS OF TECHNICAL FLUIDS OF MILITARY EQUIPMENT**

© Maryna Mikhaliyeva, Yuriy Shabaturova, Liubomyra Odosii, Volodymyr Romanchuk, Mykola Syrota 2022

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy (Lviv, Ukraine),  
professor of the department of electromechanics and electronics, PHD, galmih.ukr.net

As a result of the analysis of the basic standards of NATO, it was established that it is necessary to improve the national technical standards of the Armed Forces for compliance with those already harmonized with NATO, which, unfortunately, are only regulations and do not contain methods and means of control. Military equipment and military technologies. Today they are extremely diverse, they are based on the latest achievements of science and technology in almost all fields, therefore the tasks that are relevant for them and require solutions are even more diverse. At the same time, despite all the diversity of technologies and models of weapons and military equipment, several tasks can be identified that remain common to all of them. These are the tasks of ensuring maximum accuracy, minimum time consumption, maximum reliability and energy efficiency.

It is interesting to compare the concepts of "Kontrol'" and "control", which is based on the technical level. The different technical level of the countries will lead to problems during the operation of the equipment that will come from NATO member countries. Control is the process of paper monitoring, testing in laboratories, documentation. Control, according to NATO standards, is the result of automation, ensuring quality and safety during the operation of online equipment.

Unfortunately, modern national standards describe only laboratory control methods. There are no electrical methods that allow automating the process of quality analysis. Therefore, the topic of research is relevant.

Modern scientific research and modern devices make it possible to research and develop the theory and practical application of immittance spectroscopy for the diagnosis of objects of a non-electric nature – multicomponent liquids, which are technical fluids (brake fluid).

The purpose of the work is to develop the method and structure of the brake fluid monitoring system based on a new electrical method. The subject of the research is technical fluids used in military equipment. The object of the study is the dependence of the electrical properties of multicomponent fluids on their composition (brand of brake fluid). Expected results – methodical proposals for the use of the electrical method of brake fluid control, the information measuring system for the control of technical fluids for the uninterrupted operation of military equipment.

The work develops and proposes a new express method of controlling the composition of the technical fluid, using brake fluid as an example, which will provide a technical assessment of the risks of the equipment in working mode.

The implementation of NATO standards and their improvement with newly developed methods ensures a systematic increase in the combat capability of the troops, the achievement of interoperability with the forces and means of the leading countries of the world, and contributes to the increase in the efficiency of the use of state resources in the field of defense.

*Pohodylo, E. V. Stolyarchuk, P. G. Immittance quality control [Text]: monograph / E. V. Pohodylo, P. G. Stolyarchuk. – Lviv: Lvivskapolytechnic, 2012. – 164 p.*

*Grigorchak I., Monday G. Impedance Spectroscopy.-Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic.,-352 p. 2011*

*Patent of Ukraine UA 97770 C2. The method of controlling the qualitative and quantitative composition of liquids M. Mikhaliyeva, P Stoliarchuk, Ye. Pohodylo. Published 12.03.2012 Bull. № 5.*

*Mikhaliyeva M., Odosii L., Shabaturova Y., Lunkova H., Hots N., Przystupa K., Atamaniuk V. Electrical Method for the Cyberphysical Control System of Non-Electrical Objects / M. Mikhaliyeva, L. Odosii, Y. Shabaturova, H. Lunkova, N. Hots, K. Przystupa, V. Atamaniuk // Przegląd Electrotechniczny. – Vol 2019, No 11. . – pp.200–203.*

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ РОБОТО ТЕХНІЧНОЮ ПЛАТФОРМОЮ

© Дмитро Новак<sup>1</sup>, Андрій Мошенський<sup>2</sup>, Любов Олещенко<sup>3</sup>, Олександр Гуйда, 2022

<sup>1</sup> Київський національний університет технологій та дизайну (Київ, Україна), доцент кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон, к.т.н., доцент, novak.knutd@gmail.com

<sup>2</sup> Національний університет харчових технологій (Київ, Україна), доцент кафедри інформаційних технологій, штучного інтелекту і кібербезпеки, к.т.н., доцент, ut5uuv@gmail.com

<sup>3</sup> Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (Київ, Україна), доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, к.т.н., доцент, oleshchenkoliubov@gmail.com

4 Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського (Київ, Україна), завідувач кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій, к.держ.упр, guydasg@ukr.net

У світі відбувається стрімке зростання темпу впровадження роботів у промисловості та побуті. За останній рік у світі було продано понад 600 тисяч промислових роботів, а за оцінками фахівців у 2023 році це число досягне близько 750 тисяч [1]. Більшість впроваджених роботів – це роботи, які застосовуються в приміщенні, тобто Indoor типу. Обсяги світового ринку Indoor роботів також стрімко зростають і до 2026 року досягнуть 50 мільярдів доларів.

Метою роботи є розробка програмно-апаратного забезпечення для управління мобільною роботою технічною платформою на базі мікроконтролера ESP8266, з використанням програмно-апаратних способів реалізації.

У процесі виконання роботи було проведено аналіз наявних систем управління мобільними роботами, була розроблена структурна схема, був зроблений вибір програмних та апаратних компонентів та розроблено функціональну схему. Побудова системи управління та модель для зняття параметрів з мобільної платформи розроблені з використанням мови програмування C++ та на базі мікроконтролера Espressif.

Одним з найбільш швидкозростаючих напрямків робототехніки є мобільна робототехніка (MR). У більшості випадків роботом керує людина-оператор на рівні руху, що вимагає від людини постійного спостереження за роботом і швидкого контролю за його рухами. Розроблену систему управління мобільним роботом можна виразити як взаємозв'язок між кількома підсистемами та зовнішнім середовищем та системою керування ([2], рис. 1).

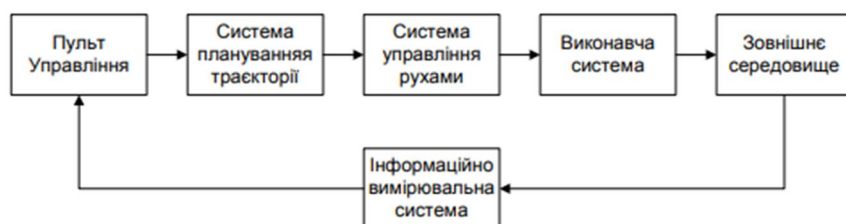
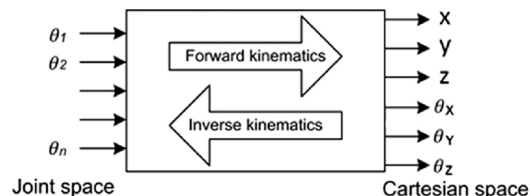


Рис. 1. Загальна система управління роботом

Система управління рухом мобільного робота призначена для планування таких програмних траєкторій робота, які б приводили робота у вказану цільову точку в середовищі з перешкодами, враховуючи при цьому динаміку робота. Цільовий стан системи формується системою планування траєкторії. На виході цієї системи розраховуються і формуються значення бажаної лінійної швидкості руху і кута повороту тіла з фізичних розмірів приводу (в даному випадку кут повороту валу сервоприводу).

Кінематика робота ([2], рис. 2) вимагає визначення структури робота за допомогою набору ланок, які в основному є твердими тілами, і суглобів, що зв'язують їх та обмежують їх відносний рух, таких як обертальні або поступальні суглоби. Рух кінематичного ланцюга моделюється кінематичними рівняннями ланцюга. Ці рівняння визначають конфігурацію ланцюга з погляду його спільних параметрів.

Рис. 0. Загальний вигляд  
прямої та зворотної  
кінематики



В даній роботі використовувався MPArduinoSpiderRobotR1 ([3], рис. 3), як основа для розробки програмно-апаратного управління мобільним роботом.

Робот R1 – чотириногий крокуючий Wi-Fi-робот, що базується на основі платформи ESP8266, використовує 8 сервоприводів та драйвер ([3], рис. 3), яким можна керувати через веб-інтерфейс будь-якого смартфона. NodeMCU – це платформа з відкритим кодом (прошивка з відкритим вихідним кодом, до якої входять проекти прототипних плат).

Сервопривід ([3], рис. 3) найбільш поширений в робототехніці. Без нього не обійтися, особливо якщо мова йде про вирішення проблеми точного переміщення самого робота чи предметів які він повинен переміщати.

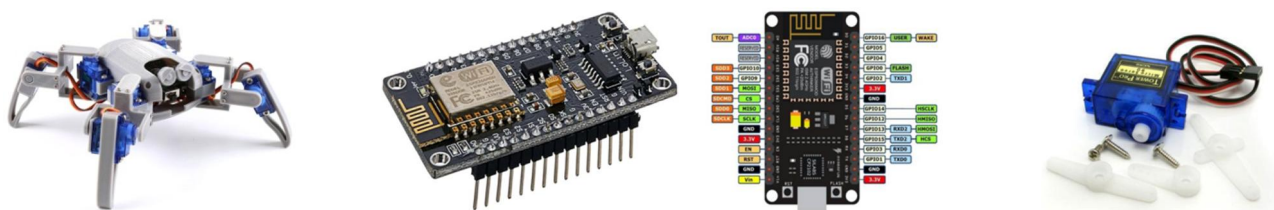


Рис. 3. Обладнання: ArduinoSpiderRobotR1; NodeMCU ESP8266; Micro Servo SG90 9g

Рух робота забезпечується за допомогою 8 сервоприводів, які прикріплені до тіла робота. Алгоритм ходьби робота засновано на розв'язанні задачі зворотної кінематики, – це ланцюжок, у якому кожна ланка пов'язана з двома сусідніми ланками через шарніри.

**Висновки.** В даній роботі розглянуто мобільні роботи, спосіб пересування яких є кроки. В майбутньому роботи на ногах зможуть пробиратися туди, де людям знаходитися небезпечно. Вони будуть стрибати з парашутом у лісові пожежі для збору даних у реальному часі, бігти у палаючі будівлі у пошуках мешканців, заходити на територію катастроф, вивчаючи важкодоступні території, тощо.

Розроблено програмно-апаратне управління мобільним роботом Spider Robot R1 на базі мікроконтролера ESP8266, що базується на програмуванні мовою C++ з використанням програмно-апаратних способів реалізації. Рух даного робота забезпечується за допомогою 8 сервоприводів, які прикріплені до тіла робота, мікроконтролер ESP8266, який в цьому випадку грає роль точки доступу, та надає веб-контроль за допомогою будь-якого смартфона або браузера комп'ютера, які підключені до нього. Алгоритм роботи програми робота-паука базується на розв'язанні задачі зворотної кінематики. Для підвищення ефективності роботи мобільного крокуючого робота в нього було вмонтовано додаткові датчики та вдосконалено алгоритм програмного забезпечення з використанням штучного інтелекту.

1. Світле майбутнє: яких технологічних трендів чекає у 2022–2025 роках. Mind.ua. URL: <https://mind.ua/openmind/20234271-svitlye-majbutne-yakih-tehnologichnih-trendiv-chekati-u-20222025-rokah> (дата звернення: 15.10.2022).

2. Папуша Д., Чепюк Л. Автоматизована система управління рухом робота для дослідження небезпечних приміщень. Тези доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення – 2017». URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/11/154.pdf>.

3. R1 Quadruped robot mg90s. MakerBuying Cloud. URL: <https://cloud.makerbuying.com/index.php/s/DXeWZJETFwnxLNF?path=/Spider%20robot> (date of access: 15.10.2022).

## ВНУТРІШНІ ЗАСОБИ ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКІВ ЛІНІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ТРУБОПРОВОДУ

© *Анатолій Обита*<sup>1</sup>, *Владислав Шугай*<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор Кафедри Обчислювальної Математики та Програмування, Доктор Технічних Наук, Професор, [omr.dept@lpnu.ua](mailto:omr.dept@lpnu.ua)

<sup>2</sup> Національний університет “Львівська політехніка” (Львів, Україна), магістр Кафедри Електронних Обчислювальних Машин, [vladyslav.shuhai.mkisp.2021@lpnu.ua](mailto:vladyslav.shuhai.mkisp.2021@lpnu.ua)

Одним з пріоритетних завдань трубопровідного комплексу є необхідність забезпечення безвідмовної та надійної його експлуатації. В останні роки очікується, що трубопроводи будуть обладнані системами моніторингу операцій транспортування товару та виявлення витоків. Існує велика кількість методів виявлення та локалізації витоків, розроблених і випробуваних [1].

Метою роботи є розробка експериментальної моделі системи оперативного контролю виявлення та локалізації місця витоку нафти (СВВ) внаслідок здійснення несанкціонованих врізок на лінійній ділянці магістрального трубопроводу, яка відрізняється від існуючих аналогів за архітектурою та алгоритмом виявлення витоків. Виявлення та локалізація місця витоку досягається сукупністю методів, серед яких базовим є метод негативних хвиль тиску. Цей метод ґрунтується на реєстрації хвиль зниження тиску, що виникають в момент появи витоку і поширюються в обидві сторони трубопроводом зі швидкістю звуку [2]. Метод має певні переваги, а саме: швидке виявлення значних витоків, застосування незалежно від довжини та конструкції лінійної частини трубопроводу, забезпечення неперервного контролю за появою витоків, простота та доступність в експлуатації. Також він має і недоліки: низька чутливість, велика похибка визначення місця витоку [1].

У процесі виконання роботи були вирішені задачі: виконано огляд методів виявлення витоків нафтопродуктів та досліджені методи виявлення і локалізації витоків нафти на основі негативних хвиль тиску; виконано аналіз принципів роботи апаратного забезпечення та алгоритмів діагностики стану мереж трубопроводу транспорту; розроблено методіку обробки експериментальних даних і представлення отриманих результатів; розроблено програмно-апаратну частину системи контролю виявлення витоків вздовж контрольованої ділянки трубопроводу та проведено розрахунок і оцінку результатів випробувань системи; проведено попередні випробування системи виявлення витоків на лінійній частині магістрального нафтопроводу «дільниця 43» станція «5С» – станція «1К» від 0 км до 231 км. Випробування проводилися з повною перевіркою алгоритмів роботи системи, згідно з проектними рішеннями шляхом організації зливів нафтопродукту з нафтопроводу за затвердженою програмою та методикою випробувань СВВ.

У процесі випробувань виконано: перевірку функціональних вимог до СВВ; перевірку характеристик СВВ; перевірку системи на стійкість; перевірку точності та достовірності визначення витоків у межах ділянки, що захищається.

У результаті виконання випробувань встановлено, що запропонована система оперативного контролю виявлення витоків нафтопродукту вздовж ділянки трубопроводу може використовуватись у сфері магістральних трубопроводів.

Обґрунтовано економічними розрахунками, що продукт є конкурентоспроможним (за швидкодією, стійкістю роботи та ціною) і може вийти на ринок систем виявлення витоків, що може бути прибутковим у майбутньому.

1. <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2022.100074>

2. Volodymyr Grudz, Andriy Zhdek, Vasyl Bolonnyy. Estimation of flow rate of oil loss as a result of damage of linear part of oil main. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. №6. P. 75–78.



## ЛАБОРАТОРНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ В ЛАБОРАТОРІЇ РОЗУМНИХ СЕНСОРІВ НА КАФЕДРІ "ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ"

© Андрій Озгович<sup>1</sup>, Олександр Ришковський<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, к.т.н., доцент, [ivt@lpnu.ua](mailto:ivt@lpnu.ua)

<sup>2</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, к.т.н., доцент, [ivt@lpnu.ua](mailto:ivt@lpnu.ua)

Кафедра “Інформаційно-вимірювальні технології” НУ “Львівська політехніка” піднімає на новий рівень підготовку спеціалістів з вимірювальної техніки і метрології за підтримки фірми “IFM Electronic”[1] – провідної компанії з розробки і виробництва промислових сенсорів неелектричних величин і елементів автоматизації в Європі.

Історична довідка. Фірма “IFM Electronic” – розпочинає свою історію з 1969 році в Німеччині (м.Ессен) як сімейне підприємство. Засновниками компанії є Robert Buck і Gerdt Marhofer. Сьогодні фірму очолюють голова правління Martin Buck і виконавчий директор Michael Marhofer. На сьогоднішній день компанія нараховує понад 5000 співробітників в 70-и країнах світу і є одним із світових промислових лідерів виробництва засобів автоматизації і вимірювальної техніки. Фірма досягнула успіхів завдяки своїй політиці по відношенню до співробітників і клієнтів. В різних філіалах по обслуговуванню клієнтів працює понад 1300 висококваліфікованих спеціалістів, які надають підтримку клієнтам по всьому світу. Більше 600 науковців, інженерів і техніків працює у відділі досліджень і розробок. Тісно співпрацюючи з науково-дослідними установами і університетами по пошуку рішень, що відповідають вимогам сучасного ринку і найближчого майбутнього, компанія отримала понад 600 патентів на свої винаходи. Основні виробничі потужності компанії розташовані в районі Боденського озера (Німеччина), де виготовляється коло 88 % продукції компанії, а частина виробництва знаходяться в Азії і США.

За останні 3 роки фірма “IFM Electronic” створила на кафедрі нову сучасну лабораторію розумних сенсорів. Лабораторія оснащена 10-а лабораторними стендами:

Сенсори витрат і швидкості потоку рідини (SBY246, SV4200, SM6020, SA5000),  
Сенсори тиску (PG2795, PG2489, PI2795, PN2096, P03834, PT5404, PK6524, PT0505),  
Сенсори вимірювання відстані (O1D100, RMS001, RVP510),  
Сенсори кута нахилу (інклінометри) (JN2200, JN2201),  
Сенсори температури, в т.ч. інфрачервоні (TW2000, TD2243, TT1250, TT1291),  
Сенсори вимірювання рівня речовини (LR2050, UGT510, 01D300),  
Вібродіагностика (контроль вібрації об'єктів) (VSA001, VNB001, VKV021, VSE100),  
Сенсори електропровідності (концентрації) розчинів (LDL100, LDL200, LMT100),  
Пристрої промислової безпеки (MN200S, MN500S, G1501, G2001S, GM701S),  
Сенсори технічного зору (O2V100, O2D220, O3D302).

Це єдина така лабораторія у Східній Європі, яка оснащена найсучаснішими промисловими смарт-сенсорами.

Практично всі сенсори працюють з програмним забезпеченням IO-Link (LR Device), яке рекомендоване Європейською Комісією для використання всіма виробниками сенсорів.

Співробітниками кафедри розроблені методичні рекомендації для студентів для роботи з кожним з сенсорів, які представлені в лабораторії. Лабораторія використовується для проведення лабораторних робіт з різних навчальних дисциплін, а також для методичних семінарів для представників підприємств.

## РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У СТОМАТОЛОГІЇ

© Софія Олескевич<sup>1</sup>, Юрій Кривенчук<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), студентка кафедри систем штучного інтелекту, sofia.oleskevych.knm.2019@lpnu.ua

<sup>2</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), доцент кафедри систем штучного інтелекту, к.т.н., доцент yurkokryvenchuk@gmail.com

Використання сучасних технологічних рішень в стоматологічній практиці набирає все більшої популярності, а самі системи стають все більш досконалішими. Безумовно, для отримання найкращих та достовірних результатів пройде ще не один рік, однак можна бути впевненими, що це повністю змінить уяву людей про отримання якісного стоматологічного лікування.

Виявлення проблеми, планування лікування та його якість напряму залежить від людського фактору з обох сторін. Це стосується і кваліфікації лікаря та його власного досвіду, і пацієнта. При цьому, медикам дуже часто доводиться мати справу з нестандартними та унікальними випадками, ускладненнями, що надалі супроводжується залучанням цілої команди спеціалістів.

У пацієнта, який зробив знімки – від рентгену до комп'ютерної томографії, є дуже велика ймовірність отримати абсолютно різні діагнози від спеціалістів одного ж і того сектору. Тобто по суті, його здоров'я залежить від того, наскільки точно стоматологи зможуть інтерпретувати результати обстежень та сформувані план лікування.

Щоб мінімізувати вплив людського фактору якраз і потрібне використання штучного інтелекту, який не має здатності пропускати нюанси, відчувати втому та відволікатись.

Зараз сфери застосування штучного інтелекту в стоматології мають два напрямки. Ті, які локалізують проблему та визначають анатомічні особливості будови – черепа, зубів, кісток, пазух і т.д. Другий напрям вирішує проблему патологій, тобто визначається що в зубі не є нормою.

Які ж переваги отримає пацієнт в результаті такої діагностики?

**Точний діагноз.** Першочергова складова, яка допоможе скласти правильний план лікування з урахуванням всіх патологій.

**Якісний підхід до лікування.** Так як нейронні мережі навчаються на десятках тисяч даних, ймовірність пропустити якусь особливість зменшується до мізерної.

**Економія коштів.** Більшість людей звертається до стоматологів в крайніх випадках, а при наявності онлайн сервісу це буде частіше, адже буде економитись і час, і кошти.

**Друге незалежне від стоматолога рішення.** Тобто в результаті пацієнт отримає об'єктивне, експертне та незалежне рішення від смарт системи про стан здоров'я.

Точність діагностики може становити 90%, а найголовніше, що пацієнтам більше не потрібно відвідувати декілька консультацій та сумніватись в назначені, а лікарю – переконувати в своїй компетентності.

З кожним новим роком застосування штучного інтелекту в стоматології лише збільшується і наразі вважається, що в найближчі декілька років перспектива розвитку штучного інтелекту в стоматології зросте, а системи для розпізнавання патологій з'являться у значній кількості сучасних клініках.

1. Ivanova G.G., Kasumova M.K., Tihonov E.P. *Cifrovye izmereniya i komp'yuternaya vizualizaciya struktury dentina posredstvom elektrometrii // Institut Stomatologii. – 2018. – № 2 (79). – S. 112-116.*

2. Касумова М.К. *Методы, алгоритмы и системы классификации и опознавания полисегментарных биомедицинских изображений на базе нейросетевого классификатора: автореф. дис. канд. тех. наук. – С-Петербург, 2000. – 16 с.*

3. Цимбал Ю.В. *Моделі та алгоритми візуалізації багатовимірних даних на основі автоасоціативних нейронних мереж: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.23. – Л., 2004. – 20 с. – укр.*

4. *Нейросети в производстве зубных протезов. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/olegbunin/blog/486028/>*

## USING THE LABVIEW ENVIRONMENT IN A REMOTE LABORATORY OF COMPUTER MEASUREMENT SYSTEMS

© Eligiusz Pawłowski<sup>1</sup>, 2022

<sup>1</sup> Lublin University of Technology (Lublin, Poland), associate professor of the Department of Automation and Metrology, Ph.D., e.pawlowski@pollub.pl

In electrical engineering education, a good understanding of the computer measurement systems theory is largely dependent on experimentation and laboratory activities to prove or explain the theory taught in class. Traditionally, to carry out experiments, students have to be at the same location as the measuring equipment used. The motivation behind the remote lab concept is that if some means can be found to allow configuration and measurement to be carried out remotely, students might not need to be in the physical laboratory to achieve at least most of the benefits of hands-on experimentation.

The use of remote labs is widely extended nowadays. Developing a remote laboratory is a well described process in literature [1-3]. Many practical examples allow an academic teachers to understand the design problems faced and the solutions implemented during their development. A remote labs is generically a software application and measuring hardware which allows a student to complete his practices remotely, for example from his home, just as if she was in the laboratory. The student takes control of the measuring devices in the laboratory through a web page, and she can monitor the results through a WebCam, a data file, or virtual instruments.

At the present time, most of the remote laboratories available on the Internet that provide experimentation are software-based. Experimentation provided by these systems is performed simulating real items and conditions. However, the simulation of real world conditions never fits the real behaviour. In these terms, experimentation over real measuring equipment and signals allows the student to be closer to handson experimentation. The lack of real remote laboratories is higher in those fields where manipulating real items is necessary such as in measurement systems.

The remote laboratory introduced in this paper implements a software and hardware based system for performing measuring experiments remotely.

From the programming and remote control point of view a convenient solution is represented by the graphical development platform LabVIEW [4-6]. From the point of view of the systems required to create the real laboratory works, National Instruments USB measuring devices can be used, which allows when accompanied by many different sensors to easily implement any experiment. The present paper presents a solution for joining the two solutions in developing remote laboratories.

1. Gomes, Luís, and Javier Garcia Zubía. *Advances on remote laboratories and e-learning experiences*. Vol. 6. Universidad de Deusto, 2008.

2. Zubía, Javier García, and Gustavo R. Alves, eds. *Using remote labs in education: two little ducks in remote experimentation*. Vol. 8. Universidad de Deusto, 2012.

3. Garcia-Zubia, Javier, et al. "Requirements of useful remote labs." *IFAC Proceedings Volumes 40.1* (2007): 126-129.

4. P. Orduña, J. García-Zubia, L. Rodríguez-Gil, J. Irurzun, D. Lopez-de-Ipiña and F. Gazzola, "Using LabVIEW remote panel in remote laboratories: Advantages and disadvantages," *Proceedings of the 2012 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2012, pp. 1-7, doi: 10.1109/EDUCON.2012.6201134.

5. Cotfas, P. A., Cotfas, D. T., Ursutiu, D., & Samoila, C. *LabVIEW and NOVA 5000 in Remote Laboratories*. Conference ICL2008 September 24-26, 2008 Villach, Austria.

6. Sabri, Ahmed AL, et al. "Remote control laboratory experiments in physics using LabVIEW." *International Journal of Information Science and Technology 1.1* (2018): 11-16.

## НАЦІОНАЛЬНІ ЕТАЛОНИ ОДИНИЦЬ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ЗАБЕРПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ В МЕДИЧНІЙ ГАЛУЗІ

© Василь Паракуда<sup>1</sup>, Іван Кізлівський<sup>2</sup>, Олександр Шпак<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НУ «Львівська політехніка», аспірант, ivan.h.kizlivskyi@lpnu.ua

<sup>2</sup> Державне підприємство «Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем»

(ДП НДІ «Система», Львів, Україна), в. о. директора, Ph.D., доцент, vs@dndi-systema.lviv.ua

<sup>3</sup> НУ «Львівська політехніка», аспірант, oleksandr.v.shpak@lpnu.ua

На даний час у світі зберігається стійка тенденція до розширення сфери застосування ультразвукових вимірювань в охороні здоров'я та медицині, зокрема: під час діагностичних досліджень, терапевтичних маніпуляцій, хірургічних втручаннях, косметологічних та стоматологічних процедурах, екстракорпоральних застосуваннях та ін.

Акустичний вихід ультразвукового медичного обладнання характеризується наступними акустичними параметрами: ультразвукова потужність, ультразвуковий тиск, інтенсивність ультразвукового випромінювання, частота випромінювання, механічний та тепловий індекси [1]. Дані параметри необхідно обов'язково вимірювати та контролювати.

Зазвичай дослідження вихідних параметрів медичної апаратури проводять виробники такого обладнання, оскільки вимоги до них описані в низці міжнародних стандартів щодо безпеки використання. Зокрема стандарти серії ІЕС 60601-2-5 [2], ІЕС 60601-2-37 [3], ІЕС 61157 [4], ІЕС 61689 [5], ІЕС 61846:1998 [6], ІЕС 61847:1998 [7] та EN 62555:2014 [8], встановлюють вимоги та межі відхилів до вихідних параметрів такого обладнання.

Проте з часом дані характеристики можуть змінюватись і обладнання необхідно перевіряти. Враховуючи те, що забезпечення захисту життя та охорони здоров'я громадян відноситься до сфери законодавчо регульованої метрології згідно Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [9], то періодичний контроль медичної апаратури є обов'язковим.

Для забезпечення єдності вимірювань необхідна чітка тотожність одиниць вимірювання, в яких було б прокаліброване обладнання та усі засоби вимірювань. Це досягається шляхом точного відтворення та збереження прийнятих на Міжнародній конференції з мір і ваг одиниць фізичних величин і передачі їх розмірів засобам вимірювань. Вищою ланкою у метрологічному ланцюгу простежуваності розмірів одиниць вимірювання фізичних величин є національні первинні еталони.

Простежуваність результатів ультразвукових вимірювань за параметрами ультразвукової потужності, інтенсивності та ультразвукового тиску в Україні на сьогодні здійснюється до національного (державного первинного) еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі та національного (державного первинного) еталона одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі, які функціонують та зберігаються у ДП НДІ «Система» (м. Львів).

Національний еталон одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі призначений для відтворення, зберігання одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі – Ват (Вт) та передавання розміру одиниці (під час калібрування) робочим еталонам, прецизійним засобам вимірювання та ультразвуковому обладнанню, які використовують в галузях економіки та у соціальній сфері з метою забезпечення єдності вимірювання в країні та простежуваності результатів вимірювання до еталонів системи одиниць SI. Діапазон значень потужності ультразвуку у водному середовищі, відтворюваних еталонам, складає від 0,005 Вт до 10 Вт у діапазоні частот від 0,5 МГц до 15 МГц.

Національний еталон одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі призначений для відтворення, зберігання одиниці ультразвукового тиску – Паскаля (Па) та передавання розміру одиниці робочим еталонам та робочим ЗВТ, які застосовують в країні з метою

забезпечення єдності вимірювання та простежуваності результатів вимірювання до еталонів системи одиниць SI. Еталон забезпечує відтворення та зберігання одиниці ультразвукового тиску в діапазоні частот від 0,5 МГц до 10 МГц в межах рівнів ультразвукового тиску від 10 кПа до 100 кПа. Еталон застосовують для калібрування і передавання розміру одиниці ультразвукового тиску у водному середовищі методом прямого вимірювання.

З метою міжнародного визнання національних первинних еталонів заплановано проведення міжнародних звірень з еталонами провідних європейських країн.

Забезпечення простежуваності результатів перевірки медичної ультразвукової апаратури, дає можливість, покращити якість надання медико-діагностичної допомоги пацієнтам при оцінці стану їх здоров'я, сприяє встановленню точних діагнозів та призначенні курсів терапевтичного лікування, запобігає використанню несправного або не повіреного обладнання, та забезпечує безпечність надаваних медичних послуг з діагностування та лікування населення, що як ніколи актуально в даний час.

1. Roy C. *Output measurements for medical ultrasound. Division of Radiation Science and Acoustics, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex TW11 OLW, UK.*

2. IEC 60601-2-5 *Medical electrical equipment – Part 2-5: Particular requirements for the basic safety and essential performance of ultrasonic physiotherapy equipment (Вироби медичні електричні. Частина 2-5. Додаткові вимоги щодо безпеки апаратів для ультразвукової фізіотерапії).*

3. IEC 60601-2-37 *Medical electrical equipment – Part 2-37: Particular requirements for the basic safety and essential performance of ultrasonic medical diagnostic and monitoring equipment (Вироби медичні електричні. Частина 2-37. Додаткові вимоги щодо безпеки та основних робочих характеристик ультразвукового медичного обладнання для діагностики та контролю).*

4. IEC 61157 *Standard means for the reporting of the acoustic output of medical diagnostic ultrasonic equipment (Вимоги до подання параметрів акустичного виходу медичного ультразвукового діагностичного обладнання).*

5. IEC 61689:2007 *Ultrasonics – Physiotherapy systems – Field specifications and methods of measurement in the frequency range 0,5 MHz to 5 MHz (Ультразвук. Фізіотерапевтичні системи. Характеристики вихідного поля та методи вимірювання в діапазоні частот від 0,5 МГц до 5 МГц).*

6. IEC 61846:1998 *Ultrasonics – Pressure pulse lithotripters – Characteristics of fields (Ультразвук. Літотриптори імпульсного тиску. Характеристики поліе).*

7. IEC 61847:1998 *Ultrasonics – Surgical systems – Measurement and declaration of the basic output characteristics. (Ультразвук. Хірургічні системи. Вимірювання та декларування основних вихідних характеристик).*

8. EN 62555:2014 *Ultrasonics – Power measurement – High intensity therapeutic ultrasound (HITU) transducers and systems. (Ультразвук. Вимірювання потужності. Терапевтичні ультразвукові перетворювачі та системи високої інтенсивності).*

9. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». – Інтернет ресурс. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>.

## SOURCES OF ROBOTIC SYSTEM POSITIONING ERRORS

© Ivan Pytel, Oleh Kokoshko 2022

<sup>1</sup> Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, PhD, As.-Prof.

<sup>2</sup> Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, Student

During the operation of an industrial robot, when stopping and fixing its working body at any point in space, an error occurs, which is called a positioning error.

The international standard ISO 9283 defines various parameters related to several test procedures for industrial robots, including accuracy and repeatability. The position accuracy and repeatability characteristics, as described in this standard, quantify the differences between the nominal position and the actual position and the fluctuations in the exact positions for a series of revisits to the nominal position. The importance of operational characteristics for robots is different and corresponds to the program of operation of a particular robot. For example, for a robot that performs welding in the automotive industry, important performance characteristics will be those related to routing, accuracy, repeatability, and speed.

The sources leading to the loss of absolute accuracy are the errors caused by the length of the joint links, the non-parallelism of the axes, the clearance between the gears, the base offset, the manufacturing errors are classified as geometric errors and account for approximately 90% of all errors. The remaining 10% of errors are attributed to the payload, thermal deviation, gear backlash, servo error, etc. They are classified as non-geometric errors.

Both static and dynamic positioning inaccuracies occur during robot operation. Static positioning arises mainly from geometrical parameters such as joint axis geometry and joint angle offset. Non-geometric parameters include compliance (elasticity of joints and bonds), gear form errors (eccentricity and gear errors), gear backlash, and temperature-related expansion. Dynamic robot positioning is only relevant for large robots that are subject to high speeds and accelerations. The difficulty of increasing the positioning accuracy of the manipulator is that it changes depending on the robot's operating modes and is therefore difficult to predict.

The main components of the mechanical robotic system, which affect the positioning error, are the motor, the control system, the encoder and the wave reducer. The speed of the executive mechanism of the robot is determined by the engine and the transmission ratio of the wave gear. In this chain, the positioning error between the encoder and the final result, including the wave reducer, is formed. Encoders are usually placed on the motor shafts, and a high-ratio wave gear is used to reduce the speed of the shaft, so the repeatability is mainly affected by hysteresis, backlash, torsional elasticity and gear friction. These errors are the errors that are associated with the displacement value provided by the encoders of the robot's active joint. They represent the difference between the movement reported by the sensor and the actual movement made by the joint. These differences are mainly caused by the sensor errors themselves and the offset caused by the zeroing (or initial position) of each active connection (i.e., the error in the zero or base position of the active connection).

For example, an angular error of only  $0.5^\circ$  in the rotary joint of the robot will result in an error at the end of a 180cm arm of more than 12.7mm [1].

Conclusion The study of influencing factors on the robotic system will reduce the uncertainty of its positioning error during calibration.

1. Benjamin W Mooring, *Fundamentals of manipulator calibration, Includes bibliographical references and index.* ISBN 0-471-50864-0, <http://hdl.handle.net/10945/40313>

## АНАЛІЗ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ МЕТРИК КРИПТОВАЛЮТИ З ПЕРЕДБАЧЕННЯМ МАЙБУТНЬОЇ ЦІНИ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

© Вероніка Пихней<sup>1</sup>, Юрій Кривенчук<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), студентка кафедри систем штучного інтелекту, veronika.pykhnai.knm.2019@lpnu.ua

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), доцент кафедри систем штучного інтелекту, к.т.н., доцент yurkokryvenchuk@gmail.com

Популярність віртуальних валют зростає з кожним днем. Криптовалюта – це передова інновація Fintech, яка зараз є всесвітньою точкою доступу. Адже даний напрям інвестицій є одним з найпростіших способів заробітку. Проте це не завжди прибутковий бізнес. Адже це певний ризик втратити усі вкладені кошти, якщо куплена криптовалюта знеціниться. Рішення часто ґрунтуються на обмеженій інформації, короткострокових мотивах отримання вигоди та дуже мінливих і невизначених результатах.

Основними метриками криптовалюти вважають: реалізовану капіталізацію, балансовану ціну та дельта капіталізацію. Проте, це складно оцінити людині без відповідних знань. Адже аналіз метрик потребує навичку фінансової грамотності, а також неабиякі знання у галузі математики, економіки та бізнесу.

Дослідження доводять, що візуалізація навіть складної інформації, у нашому випадку це аналіз метрик криптовалют, сприймається легше будь-яким користувачем. Адже 90% інформації, яка передається у людський мозок є візуальною. І людський організм є настільки унікальним, що обробить візуалізовану інформацію швидше у 60000 разів.

Також невід’ємною частиною оцінки успішності криптовалюти буде – передбачення ймовірної майбутньої ціни. За допомогою нейронної мережі можливо здійснити даний прогноз, враховуючи усі проаналізовані метрики. А вже опираючись на аналіз та передбачену ціну, можна оцінити ризики майбутнього вкладення.

Отже, актуальність проблеми невдалих вкладень є досить високою, бо віртуальна валюта, буде лише набирати ще більше популярності. Відповідно, виникає потреба у зручному інструменті, який зможе виконати усю необхідну роботу за інвестора. Тому було прийнято рішення, реалізувати веб-аплікацію, яка надасть функціонал аналізу і візуалізації метрик криптовалют та передбачить ймовірну майбутню ціну за допомогою нейронних мереж.

Які ж переваги отримає інвестор від вищезгаданої аплікації?

**Фундаментальний аналіз метрик.** Основна проблема інвестицій – відсутність знань для проведення аналізу метрик, які характеризують успішність криптовалюти.

**Візуалізація даних.** Для недосвідченого інвестора візуалізація даних є найбільш зрозумілим способом донесення інформації.

**Передбачення майбутньої ціни.** Нейронні мережі вирішують проблему передбачення ціни вибраної криптовалюти та гарантуватимуть високу точність.

**Зручний інтерфейс.** Користувацький інтерфейс буде доступним та інтуїтивно зрозумілим для будь-якого користувача.

**Актуальність даних.** Кожного дня ринок криптовалют розширюється, мало того ціна крипто валюти коливається щосекундно, відповідно потрібно слідкувати за актуальністю, аби наступне вкладення було вигідним та прибутковим. Розробляється система відстеження змін метрик криптовалюти та прогнозування поведінки валюти в подальшому за допомогою багатозарових нейронних мереж.

*1. Liang, J.; Li, L.; Chen, W.; Zeng, D. Towards an Understanding of Cryptocurrency: A Comparative Analysis of Cryptocurrency, Foreign Exchange, and Stock. In Proceedings of the 2019 IEEE*

*International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI); IEEE: Shenzhen, China, July 2019; pp. 137–139.*

2. Delfabbro, P.; King, D.; Williams, J.; Georgiou, N. Cryptocurrency Trading, Gambling and Problem Gambling. *Addict. Behav.* 2021, 122, 107021, doi:10.1016/j.addbeh.2021.10702.

3. Kucherove, H.; Ocheretin, D.; Los, V.; Venherska, N. Risks of the Methodology for Forecasting the Price of Bitcoin and the Frequency of Its Online Requests in the Digitalization of Economic Systems. 16.

4. Scharfman, J. Investor Due Diligence on Cryptocurrency and Digital Asset Investments. In *Cryptocurrency Compliance and Operations*: Digital Assets, Blockchain and DeFi; Scharfman, J., Ed.; Springer International Publishing: Cham, 2022; pp. 187–203 ISBN 978-3-030-88000-2.



## РОЛЬ БПЛА У СУЧАСНОМУ СВІТІ

© Дмитро Петренко<sup>1</sup>, Юрій Кривенчук<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна),  
аспірант кафедри систем штучного інтелекту, skiff120@gmail.com

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна),  
доцент кафедри систем штучного інтелекту, к.т.н., доцент yurkokryvenchuk@gmail.com

На сьогоднішній день сфера розвитку безпілотних літальних апаратів (БПЛА) знаходиться на етапі стрімкого розвитку за свою майже столітню історію, відколи в Великій Британії було створено перший радіокерований літальний апарат. Зараз сфера БПЛА є у пошуку можливостей якнайширшого впровадження свого використання в різних процесах.

З року в рік все більше різних задач доручають виконувати дронам. Зокрема значну частину на себе переймають безпілотні літальні апарати. Завдяки використанню БПЛА можуть бути виконані завдання у важкодоступних, небезпечних для здоров'я чи життя місцях. Зокрема БПЛА виконують завдання по контролю, діагностиці та ремонту об'єктів на висоті. Також, у зв'язку зі зниженням їх вартості вони також широко застосовуються людьми у повсякденному для фото та відео зйомки. Розглядаючи БПЛА у контексті України, в останнє десятиліття значного поширення набуло використання дронів в аграрній сфері для обробки сільськогосподарських угідь. З початком повномасштабного вторгнення росії в Україну БПЛА широко застосовуються в воєнних, зокрема для розвідки. Використання безпілотних літальних апаратів у військовій справі є явищем доволі сучасним проте дуже перспективним і надає значну перевагу на полі бою.

Виходячи з усього вищесказаного, сфери застосування БПЛА можна поділити на цивільну та військову. Цивільні БПЛА можуть застосовуватись для моніторингу або спостереження за об'єктами, для сфери рекламних послуг, для фото/відео зйомки та сфери розваг а також для доставки вантажів. Військові дрони поділяються за призначенням на розвідувальні, ударні та комбіновані. В процесі оборони України від російської збройної агресії в військових цілях широко застосовуються також дрони цивільного призначення для ведення розвідки і, часом, навіть, з незначними модифікаціями, для ураження невеликих цілей.

В залежності від сфери застосування безпілотника, його використання має ряд переваг та недоліків в порівнянні з іншими методами. Зокрема серед спільних недоліків безпілотних літальних апаратів можна виокремити такі недоліки як:

**Невелика тривалість польоту.** Зазвичай вимірюється в межах від кількох десятків хвилин до кількох годин. Зумовлено незначною ємністю акумуляторних батарей для зменшення польотної маси дрона. Винятком є безпілотники на двигунах внутрішнього згорання або на реактивній тязі, котрі можуть знаходитись в повітрі без дозаправки до кількох діб.

**Невелика відстань польоту.** В першу чергу зумовлена проблемою тривалості польоту. Проте також це спричинено через технічні особливості радіозв'язку, такі як перешкоди, потужність сигналу, тощо.

Нестабільність дрона в несприятливих або екстремальних умовах за умов несподіваного зовнішнього впливу або раптової поломки.

### **Необхідність кваліфікованого персоналу для експлуатації БПЛА.**

Неврегульованість використання безпілотників в багатьох сферах в законах більшості країн зумовлена новизною масового поширення їх застосування.

Проте не зважаючи на певні недоліки, конструктори БПЛА намагаються пристосувати ці дрони для вирішення профільних завдань, знаходячи компроміс між певними рішеннями.

З кожним новим рішенням сфера застосування безпілотників лише збільшується і наразі вважається що в найближче десятиліття дана сфера отримає значний розвиток.

1. Smetanin K. Особливості використання безпілотних літальних апаратів в екологічному моніторингу / K. Smetanin // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Т. 3 (49). – С. 22-25. – doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.3.022>.

2. Повітряний кодекс України від 19.05.2011 № 3393-VI (Редакція від 19.02.2022). Архів оригіналу за 7 листопада 2017.

3. Корченко А. Г. Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов / А. Г. Корченко, О. С. Ильяш // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2012. – Вип. 4. – С. 27-36. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS\\_2012\\_4\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS_2012_4_9).

4. Даник Ю. Г. Методика забезпечення безпеки застосування БПЛА при виконанні спеціальних задач в складних умовах / Ю. Г. Даник, І. С. Катеринчук, І. І. Балицький // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2017. – № 3. – С. 116-125. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo\\_2017\\_3\\_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2017_3_22).

5. Лаврут, О. О., Т. В. Лаврут, and В. Б. Опалинський. "Перспективи використання БПЛА в інформаційно-телекомунікаційних мережах критичного призначення." Publishing House "Baltija Publishing" (2021).

## МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕНЬ У ВОДНИХ ДЖЕРЕЛАХ

© Олександр Пономаренко, 2022

Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), старший науковий співробітник відділу моніторингу і діагностики об'єктів енергетики, к.т.н., доцент, ponomarenkoS\_200@ukr.net.

Однією з сучасних проблем галузі охорони навколишнього середовища залишається інтенсивне забруднення атмосфери, водних об'єктів та ґрунту різними антропогенними джерелами викидів. Прогнозування якості довкілля та оцінка можливого впливу на нього викидів від промислових підприємств, автомобільного транспорту та інших видів людської діяльності ґрунтується, як правило, на математичному моделюванні процесів перенесення забруднень у повітряному та водному середовищі. В даний час існує широкий спектр математичних моделей, що описують процеси перенесення речовин в атмосфері, водоймищах та підземних водах. У проблемах якості води найбільше застосовується підхід, заснований на законі Фіка. Це стосується, зокрема, процесу диспергування (або дифузії), який супроводжують інші процеси, відповідальні за міграцію забруднюючих речовин в обсязі води. У даній роботі розглянуті структура системи моніторингу водних середовищ та розроблений уточнений метод оцінювання характеристик розповсюдження забруднень.

Для забруднюючих речовин, присутність яких оцінюється в кількості (наприклад, міліграми, мікрограми), репрезентативним терміном є концентрація, виражена у вигляді маси на одиницю об'єму води (наприклад, міліграми на літр). Концентрація забруднюючої речовини  $C$  є тоді змінною, яка має бути введена в модель як функція часу та простору

Для оцінювання часу просування та степеню розповсюдження забруднень розроблено багато аналітичних моделей, однак мало які моделі мають достатній рівень адекватності реальним водним агломераціям. Тому наявність надійної апріорної інформації зазвичай є найбільш вузьким місцем у послідовності подій, необхідній для прогнозування швидкості руху, концентрації та складу суміші забруднень у річках та течіях. Таким чином, необхідно усвідомлювати проблеми апріорних даних.

Природно, необхідно обчислювати характеристики процесу дифузії. Для спрощення опису моделі розглянемо вертикальну та поздовжню дифузії, а також змішування, розширення та подовження відклику слідкування хмари забруднень з поздовжньою дисперсією.

Дослідження умов якості природних річок за допомогою 1-D математичних моделей вимагає найкращих оцінок коефіцієнта поздовжньої дисперсії [1]. Коли доступні вимірювання та реальні дані процесів змішування в річці, коефіцієнт поздовжньої дисперсії визначається просто, але в річках, для яких дані про змішування та дисперсію недоступні або вже відомі, слід використовувати альтернативні методи оцінки значень коефіцієнта дисперсії [Kashefipur & Falconer, 2002].

Одновимірне (1-D) дисперсійне рівняння типу Фіка [1] широко використовувалося для отримання розумних оцінок швидкості поздовжньої дисперсії. 1-D дисперсійне рівняння:

$$\frac{dC}{dt} + u \frac{dC}{dx} = K_x \frac{d^2C}{dx^2}, \text{ де } C - \text{ середня концентрація в розрізі; } u - \text{ середня поздовжня швидкість;}$$

$t$  – поточний час;  $x$  – поздовжній напрямок у потоці;  $K_x$  – коефіцієнт поздовжньої дисперсії.

На основі цього рівняння доля переносу забруднюючих речовин у річках визначається значенням  $K_x$ , тому треба знаходити коефіцієнт поздовжньої дисперсії. Існує кілька рівнянь для його обчислення.

Хороша модель прогнозування забруднення води повинна надавати такі методи оцінки [2].

1. Швидкість переміщення забруднювача через плес річки.
2. Швидкість ослаблення пікової концентрації забруднювача з часом.
3. Тривалість часу, необхідного для проходження шлейфу забруднювача певної точки в річці.

Незважаючи на те, що точність прогнозів можна значно підвищити, виконавши дослідження часу подорожі на ділянці річки, про яку йде мова, акцент тут робиться на тому, щоб надати методи для оцінки там, де доступних даних мало.

Модель заснована на базових емпіричних рівняннях з використанням рівняння регресії з даних, доступних у літературі [3].

Для моделі використовуються чотири змінні: площа дренажу ( $A_{dr}$ ), нахил охоплення ( $S$ ), середньорічна витрата річки ( $Q_a$ ) і витрата на ділянці під час вимірювання ( $Q_{plot}$ ). Ці змінні слід об'єднати в наступні безрозмірні групи.

Площа дренажу – середнє арифметичне значення між площею водозбору в місці розливу та площею водозбору в точці вимірювання:  $\hat{A} = (A_{pol} + A_m) / 2$ .

Нормалізована площа дренажу:  $A_{norm} = (A_{dr} \sqrt{g}) / R_{runoff}$ , де  $g$  – прискорення сили тяжіння;  $R_{runoff}$  – середній стік води за результатами довгострокових спостережень.

Нормалізоване відносне ослаблення концентрації:  $R_x = Q_a / R_{runoff}$ .

Таким чином, після прийняття цих спрощень ми можемо оцінити деякі необхідні характеристики.

Рівняння для швидкості зростання пікової концентрації ( $V_{peak}$ ), у метрах за секунду, з використанням лише площі стоку:  $V_{peak} = 0,152 + 8,1 \cdot A_{rel}^{0,595} \cdot (Q_{dr} / A_m)$

Рівняння для ймовірної максимальної швидкості ( $V_{max}$ ) у метрах за секунду:

$$V_{max} = 0,2 \cdot 40,0 \cdot A_{rel}^{0,595} \cdot (Q_{dr} / A_m)$$

Крім того, знаючи, коли пікова концентрація досягне певної точки, дуже важливо знати, коли прибуде забруднювач. Час надходження переднього фронту забруднювача вказує, коли вперше виникне локальна проблема, і визначає загальну форму функції реакції на концентрацію.

Найімовірніший час проходження піку ( $T_{peak}$ ) до нижнього шуканого профілю визначається рівнянням:

$$T_{peak} = \frac{D}{V_{peak} \cdot 3600}$$

де  $D$  – відстань (у метрах), а результати – у годинах.

Процеси змішування зазвичай тлумачили за допомогою теорії дифузії Фіка, тоді як Фішер (1967) використовував цю теорію для визначення коефіцієнтів поздовжньої дисперсії для змішування в річках. Пікова концентрація є дуже важливою точкою на кривій реакції індикатора, і зміна дисперсії стає найбільш очевидною, якщо одиничну пікову концентрацію розглядати як функцію часу, що минув після введення. Для одинично-пікових концентрацій ( $C_{u peak}$ ) найбільш значуще рівняння регресії, засноване лише на часі подорожі та відношенні річкового стоку до середнього річного стоку, представлено нижче:

$$C_{u peak} = 857 \cdot T_{peak}^{0,760} (Q_{f meas} / R_{year})^{-0,079}$$

де  $Q_{f meas}$  – річковий стік на ділянці на момент вимірювання, а  $R_{year}$  – середньорічний стік на ділянці. Крім того, найбільш імовірну консервативну пікову концентрацію можна розрахувати за спрощеною формулою:

$$C_{peak} = \frac{C_{u peak} \cdot M_{poll}}{Q_{dr}}$$

де  $M_{poll}$  – маса забруднення, наведена в мг.

За допомогою цих формул чисельної моделі можна передбачити з прийнятною точністю ймовірне забруднення та його основні характеристики на розглянутій відстані від точки розливу.

Таким чином, вхідні характеристики, які використовуються в цій моделі, будуть наступними: площа дренажу на місці розливу ( $A_{poll}$ ) [м<sup>2</sup>] – визначає площу дренажу на місці розливу забруднювача з початку річкового потоку; площа водозбору при вимірюванні ( $A_{trf}$ ) [м<sup>2</sup>] – визначає площу водозбору в точці вимірювання від початку річкового потоку; середній стік ( $R_{runoff}$ ) [м<sup>3</sup>/с] – середній стік у точці вимірювання;  $Q_{dr meas}$  [м<sup>3</sup>/с] – витрати на ділянці на момент вимірювання;  $D$  – відстань від місця розливу (м);  $M$  – маса розливу (мг);

Використовуючи аналіз із використанням геоінформаційних систем, значну частину необхідних даних можна попередньо обчислити, тому модель може працювати надійно, використовуючи лише кілька вхідних даних. На основі даних моделі вихідними характеристиками будуть наступні дані: безрозмірна площа  $A_{rel} [m^2]$ ; безрозмірна поточна витрата  $R_{runoff} [m^3/c]$ ; одиниця пікової концентрації  $C_{u_{peak}} [c]$ ; швидкість пікової концентрації  $V_{peak} [m/c]$ ; ймовірна максимальна швидкість  $V_{max\ prob} [m/c]$ ; ймовірний час проходження піку  $T_{peak\ pass}$  (годин); пікова концентрація  $C_{peak} [mg/l]$ .

Щоб передбачити подальшу долю забруднювача, коли він потрапляє у воду, необхідно визначити ймовірний час проходження піку  $T_{peak\ pass}$  (час, за який забруднювач досягає заданої точки) і пікову концентрацію  $C_{peak}$  у точці вимірювання.

Цих даних достатньо, щоб представити картину забруднення навколишнього середовища, але потрібно включити відсоток помилок. Похибка поточної моделі, показана при калібруванні, становила лише 2%. Ця помилка може бути більшою через природу хімічних речовин та інші фактори, на які може впливати. Для зменшення цих помилок пропонуємо новий підхід, заснований на принципі багатоточковості.

Принцип багатоточковості. На руслі річки обираємо послідовність точок вимірювання. Точка вимірювання – це така точка, де представлені всі дані, необхідні для розрахунку моделі. Він також відомий як пункт моніторингу гідрометеорологічних станцій. Точки будуються за принципом один за одним, тому після моделі місця розливу може бути лише одна вимірювана точка біля річкового потоку, тобто наступна точка біля потоку. Після цієї точки може бути доступна лише одна точка. Така послідовність нагадує маршрутизацію за замовчуванням.

Вибір моделі підрахунку аварій між двома точками такий: місце розливу – точка вимірювання. Кожна наступна точка є за моделлю новою координатою і водночас є у цій координаті точкою вимірювання. Таким чином, розраховується  $i$ -та точка місця розливу, після чого розраховується  $(i+1)$ -та точка, поки остання точка вимірювання не буде досягнута. У кожній новій точці так чи інакше калібруються вхідні дані, тому враховуватимуться усі попередні пункти. Кожна характеристика має власний принцип урахування: площа дренажу на місці розливу  $A_{dr}$  – постійна, яка включає в себе верхів'я; площа дренажу при вимірюванні  $A_{max}$  – постійна, яка вже включає площу попередніх точок; середній стік  $R_{runoff\ mean}$  – постійний, приймається для конкретної точки; послаблення концентрації на ділянці під час вимірювання ( $Q_{deconc}$ ) – відраховується для конкретної точки в конкретній ситуації; накопичувана відстань  $D_{stored}$  – розраховується за такою формулою:

$$D_{stored} = \sum_{i=1}^n D_{i\ point}$$
, де  $i = 1, 2, \dots, n$  – номер точки,  $n$  – номер останньої вимірюваної точки,  $D_i$  – відстань від попередньої  $(i-1)$ -ї точки до  $i$ -ї точки; маса  $M$  враховується для кожної конкретної ситуації;

Таким чином, враховано всі дані з попередніх пунктів. Пункти, які потребують введення для поточної ситуації, вводяться користувачем. Ці характеристики: витрата  $Q_{dr\ meas}$  на ділянці на момент вимірювання ( $m^3/c$ ) – входить для кожної точки; маса  $M$  (мг) – входить для всіх точок. Для спрощення масу слід вводити у тоннах з уповні очевидним калібрувальним коефіцієнтом.

Усі інші дані, такі як площа дренажу або середній стік, є сталими характеристиками для точки.

Таким чином, кожен розрахунок у точці матиме результат, необхідний для оцінки картини забруднення.

Математичне представлення принципу

Вибране одновимірне рівняння виглядає наступним чином:  $\frac{dC_{av}}{dt} + u_{av} \frac{dC_{av}}{dx} = K_x \frac{d^2C_{av}}{dx^2}$ , де  $C_{av}$  – середня концентрація в розрізі;  $u_{av}$  – середня поздовжня швидкість;  $t$  – час;  $x$  – поздовжній напрямок у потоці;  $K_x$  – коефіцієнт поздовжньої дисперсії.

Враховуючи закон Бернуллі, вважаємо, що можна знехтувати змінами швидкості потоку. Тому можна застосувати очевидну фізичну формулу  $x = u \times t$ .

Після заміни змінних отримуємо наступну формулу:

$$\frac{dC_{av}}{dt} + u_{av} \frac{dC_{av}}{udt} = K_x \frac{d^2 C_{av}}{dx^2}$$

Розкладемо диференціал як диференціал другого порядку з заміною  $t = n$ :

$$\frac{dC_{av}}{dt} + u_{av} \frac{dC_{av}}{udt} = k_1 y(n-1) - k_2 y(n-2) + u(n).$$

Відповідно, розкладена формула має вид

$y(n) = k_1 y(n-1) - k_2 y(n-2) + u(n)$ , де  $k_1, k_2$  – коефіцієнти, якими визначаються швидкість та прискорення відповідно;  $u$  – поточна місткість речовини, що розливається.

Встановимо значення коефіцієнтів  $k_1 = 0,1$ ,  $k_2 = -0,5$ ,  $u = 0$ , та припустимо, що перша заливка дорівнює 1. Отримана діаграма для 15 точок матиме вигляд:

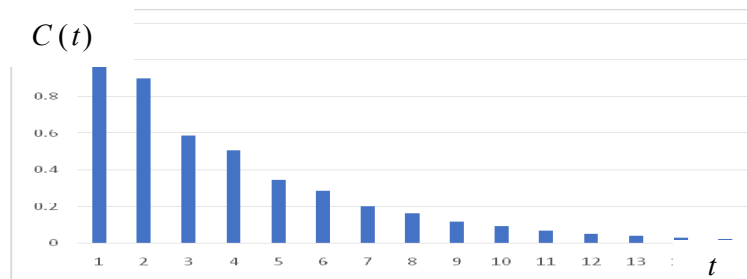


Рис. 1 Діаграма залежності концентрації забруднень від часу розповсюдження

Така залежність є доволі простою та універсальною. Вона широко використовується за багатоточковим принципом на реальних схемах застосування [4].

У представлені роботі проаналізовано процес розподілу забруднень різного походження при розповсюдженні у природних водних джерелах з рухомими потоками рідини (річках). Для аналізу використана спрощена математична модель за класичним законом Фіка.

Для підвищення точності розрахунків запропонований новий принцип багатоточкового аналізу, особливостями якого є урахування неперервності руху рідини та модель процесу течії з малими турбулентностями, що дозволяє моделювати процес потоком з обмеженою післядією. У подальшому планується ретельно проаналізувати різні варіанти рівнянь, які відповідають закону Фіка, у залежності від степеню турбулентності водних потоків, забруднених рідкими та твердими вкрапленнями. Також буде проаналізовано застосування методів покрокової регресії для побудови статистичних моделей за багатоточковим принципом.

Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., and Brooks, N. H. (1979). Mixing in inland and coastal waters, Academic, New York, 104–138.

Jobson H.E. Contamination in rivers and streams – Prediction of Traveltime and Longitudinal Dispersion in Rivers and Streams / Secretariat of the World Meteorological Organization – Geneva – Switzerland, 1999. – 50 p.

Afifi A. Statistical Analysis: A Computer Oriented Approach 2nd Edition / A. A. Afifi, S. P. Azen. – Academic Press; 2 ed., 1979. – 442 pp

Benedini M. Water Quality Modelling for Rivers and Streams / Marcello Benedini, George Tsakiris – Springer Science+Business Media Dordrecht 2013/ – 290 p.

## СПОСІБ ВИЯВЛЕННЯ ДОБАВКИ 621 У ХАРЧОВИХ ПРОДУКТАХ

© Євген Походило<sup>1</sup>, Юрій Стасишин<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор, Yevhen.V.Pokhodylo@lpnu.ua

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, yurii.a.stasyshyn@lpnu.ua

З метою забезпечення певних органолептичних показників якості харчових продуктів, переважно, в них додають добавки, які посилюють смак, аромат, колір тощо. Для посилення смаку майже в усіх групах харчових продуктів (глутамат натрію) використовується добавка Е 621. При цьому маркування не містить інформації про її наявність у харчовому продукті. Для виявлення такої добавки необхідно проводити лабораторні дослідження із застосуванням методів спектрометрії. Однак такі методи не забезпечують оперативності контролю, засоби є складними та дорогими. Експериментальні дослідження окремих харчових продуктів імітансним методом вказали на можливість його застосування для виявлення їхньої фальсифікації [1, 2], а також ідентифікації продуктів, що містять харчові добавки [3]. Виявлено, що залежності реактивних компонент адмітансів від частоти контрольованого харчового продукту з добавкою та продукту, що не містить добавки відрізняються за характером зміни кривої. Характерною ознакою залежності реактивної компоненти адмітансу контрольованого зразка продукції з добавкою від частоти тестового сигналу є наявність екстремального значення кривої в певному діапазоні частот. На основі такої ідентифікаційної ознаки запропоновано спосіб ідентифікації харчового продукту (картопляного пюре) з який добавкою Е621. Екстремальне значення реактивної компоненти  $B$  адмітансу картопляного пюре з добавкою знаходиться в діапазоні частот 200-2000Гц, для базового зразка у цьому діапазоні екстремального значення немає. Ілюстрація реалізації такого способу наведена на рис. 1.

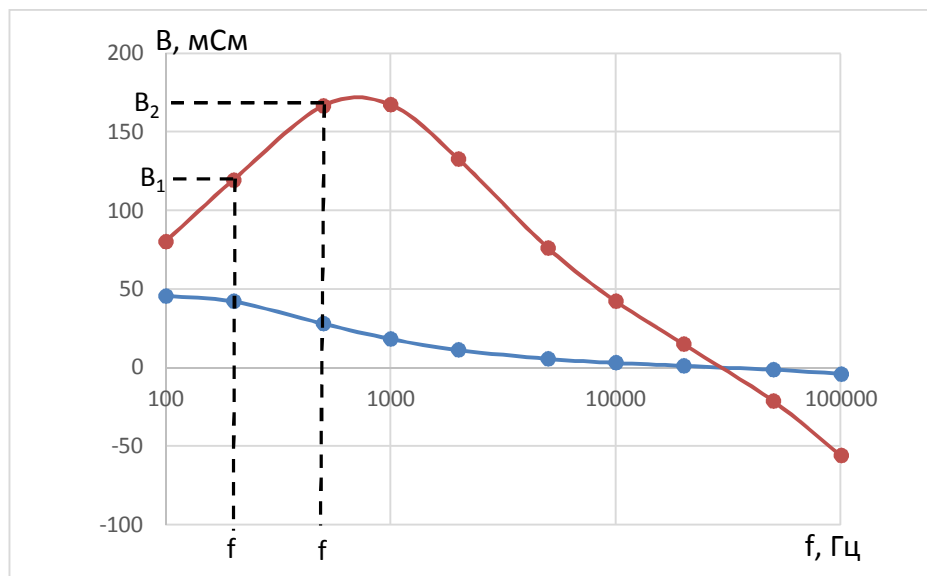


Рис. 1. Ілюстрація реалізації способу виявлення добавки

Для виявлення екстремального значення реактивної компоненти пропонується два варіанти. Перший полягає в тому, що вимірюють реактивну компоненту змінюючи частоту в діапазоні 200-2000Гц, фіксують екстремальне значення компоненти  $B$ . Для цього необхідно мати багаточастотний вимірювач реактивної компоненти.

Другий варіант виявлення екстремального значення полягає у вимірюванні реактивної компоненти на двох фіксованих частотах (рис.1).

Відповідно, в частотному діапазоні вибирають частоти, на яких значення однієї кривої спадає, а другої зростає. На рисунку в діапазоні частот  $f_1 - f_2$  реактивна компонента адмітансу базового зразка спадає, а для зразка з добавкою зростає. Тому для ідентифікації добавки достатньо виміряти реактивну компоненту адмітансу контрольованого об'єкта на двох фіксованих частотах  $f_1$  та  $f_2$  (рис.1). Якщо виміряне значення компоненти  $B_1$  на частоті  $f_1$  є меншим від значення компоненти  $B_2$  на частоті  $f_2$  ( $B_1 < B_2$ ), то контрольований об'єкт містить добавку.

Якщо виміряне значення компоненти  $B_1$  на частоті  $f_1$  є більшим від значення компоненти  $B_2$  на частоті  $f_2$  ( $B_1 > B_2$ ), то контрольований об'єкт не містить добавки.

Запропонований спосіб виявлення добавки Е621 у харчовому продукті може бути реалізований розробленими технічними засобами за спрощеною структурною схемою або з використанням серійних багаточастотних вимірювачів параметрів адмітансу з використанням ємнісного первинного перетворювача.

*1. Патент №1336160 України, МПК: G01N 33/14. Спосіб виявлення фальсифікації горілки / Походило Є.В., Піщора В.І.; Опубл.12.08.2019.*

*2. Патент №1336161 України, МПК:G01N 33/12. Спосіб виявлення факту заморожування м'яса / Походило Є.В., Флюнт Н.Б.; Опубл.12.08.2019.*

*3. Slyva Yu.V., Pokhodylo Ye.V. Application of the impedance method for determination of monosodium glutamate in food products // Food science and technolog y. 2020. Vol . 1 4, Issue 2. P.58-68.DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v14i2.1720>*



## LINEAR REGRESSION METHOD OF MATCHING THE PARABOLIC CURVE TO TESTED POINTS OF BOTH CORRELATED COORDINATES

© Jacek Puchalski<sup>1</sup>, Zygmunt Lech Warszawa<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Central Office of Measures, (Warsaw, Poland) PhD MSc.El. Eng. Main Metrologist jacek.puchalski@gum.gov.pl,

<sup>2</sup>Research Institute of Automation and Measurements PIAP-L (Warsaw, Poland),  
PhD MSc.El.Eng (Asoc. Prof. on pension) Main Specialist, zlw1936@gmail.com

Characteristics of some measuring instruments, like sensors and electronic transducers, are described by an unambiguous non-linear functions [1]. Below it is described how to fit a second-degree curve to coordinates of measured points on the example of the parabola part. In the metrology practice, characteristics of some tested objects, e.g., a measuring transducers, can be described by a nonlinear unambiguous physical dependence. In the calibration process both coordinates of tested points can be measured, and parameters of this curve fitted to their values should be found. Let us, e.g., consider an equation as a part of the parabola arm

$$y = Ax^2 + Bx + C \quad (1)$$

The sets X, Y of both coordinates  $x_i, y_i$  of  $n$  tested points can be represented together as common vector of  $2n$  elements  $Z = [X, Y]^T = [1, \dots, x_i, \dots, x_n, y_1, \dots, y_i, \dots, y_n]^T$

In general case both  $x, y$  variables are measured with random errors, and between their sets the autocorrelation and cross-correlation may occur [1]. Covariance matrix  $UZ$  of  $Z$  contains  $2n$  variances as squares of standard uncertainties:  $u_{x1}, \dots, u_{xn}, u_{y1}, \dots, u_{yn}$  on the main diagonal and covariances  $\rho_{ij} \cdot u_i \cdot u_j$  (where  $U_{ij} = u_{ji}$ ) in other positions, arranged symmetrically with respect to this diagonal.

The parameters A, B, C of function (1) have to be found. That can be done by the linear regression method. In the general case, with unequal uncertainties and the occurrence of correlations, this solution can be obtained only numerically [2]. However, for the simplified matrix  $UZ$  there are also analytical solutions [2].

For the characteristic (1) a simple method for determining parameters A, B, C is proposed. The new variable  $\xi = (x + v)^2$  is implemented, where  $v = B/2A$ . For variable  $\xi$  the straight-line equation is: i.e.:

$$y = a\xi + b = A\xi + C - v^2A \quad (2)$$

where  $a=A, b=C - Av^2$ . It is enough numerically to find now only two parameters.

The WTLS linear regression method (minimum weighted squares of distance) matching with the occurrence of cross-correlation of measured variables is used. Therefore, in this analysis one can look for a minimum of one-parameter function

$$G(a) = a^2 \left( S_{xx} - \frac{S_x^2}{S} \right) + 2 \left( \frac{S_x S_y}{S} - S_{xy} \right) a + S_{yy} - \frac{S_y^2}{S} \quad (3)$$

Where  $S = \mathbf{1}^T U_{\text{eff}}^{-1} \mathbf{1} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [u_{\text{eff}}^{-1}]_{ij}$ ,  $S_x = X^T U_{\text{eff}}^{-1} \mathbf{1} = \mathbf{1}^T U_{\text{eff}}^{-1} X$ ,  $S_{xx} = X^T U_{\text{eff}}^{-1} X$ ,  
 $S_y = Y^T U_{\text{eff}}^{-1} \mathbf{1} = \mathbf{1}^T U_{\text{eff}}^{-1} Y$ ,  $S_{yy} = Y^T U_{\text{eff}}^{-1} Y$ ,  $S_{xy} = X^T U_{\text{eff}}^{-1} Y = Y^T U_{\text{eff}}^{-1} X$ .

Matrices:  $U_{\text{eff}}^{-1} = U_{22} - (U_{12}^T a U_{22}) U^{-1} (U_{12} + a U_{22})$  and  $U = U_{11} + a(U_{12}^T + U_{12}) + a^2 U_{22}$  are positively defined, and occurring matrices  $U_{11}, U_{12}, U_{22}$  form the inverse matrix to  $U_Z$ , i.e.:

$$U_Z^{-1} = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} \\ U_{12}^T & U_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

and describing the criterion for the variable offset  $v$ , that changes vectors X and Y of the measured points coordinates and their standard uncertainties. The covariance matrix for the new coordinates will contain standard uncertainties

$$u(\xi_i) = \left| \frac{\partial x'_i}{\partial x_i} \right| = 2|\xi_i + v|u(x_i) \quad (5)$$

where  $x'_i + v \neq 0$  for  $i=1, \dots, n$ .

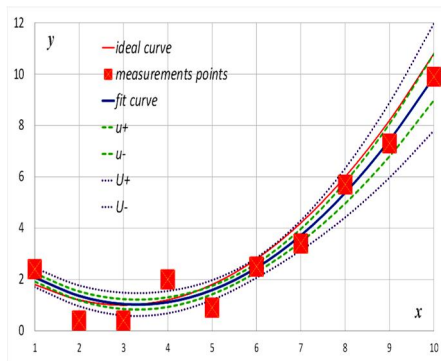


Fig.1. Measurement points, uncertainty bands and real and fitting curves

All correlation coefficients in the covariance matrix of variables  $x$  and  $y$  are identical to those in the covariance matrix for variables  $x$  and  $y$ . The parameters are:  $A = a_{min}$ ,  $B = 2a_{min}v_{min}$ ,  $C = b_{min} + a_{min}(v_{min})^2$ . The uncertainty band is determined from the parameters of covariance matrix

(6)

Above method was tested on a few cases. Some will be discussed in the presentation. The final curves of one of them are on Fig. 1

### Conclusions

A simple and very fast calculation method was presented. It allows for a precise adjustment of the second-degree nonlinear curve to the measurement points while maintaining mutual correlations between the measured correlated variables. It can be easily implemented in the EXCEL workbook, as well as in other environments, e.g., MATLAB, R.

### Addition. Example 1. Uncorrelated quantities

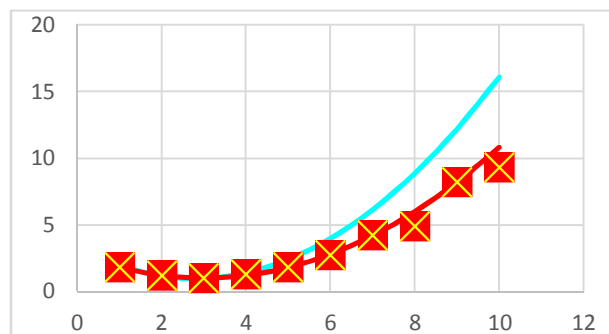
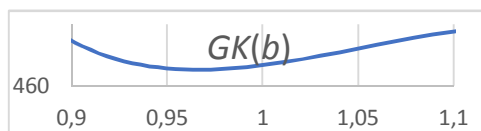
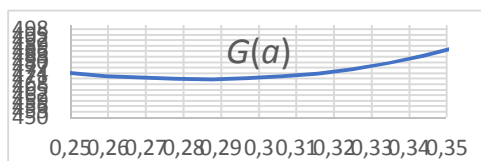
The minimum for  $G(a)$  function was tracked during minimization relative to the parameter  $a$ .

Parabola:

Table 1

Slightly scattered measuring points

|      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 1,81 | 1,19 | 0,99 | 1,27 | 1,79 |
| 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| 2,7  | 4,19 | 4,9  | 8,19 | 9,29 |



Curve adjusted to:

1. Warsza, Z., Puchalski, J., Uncertainty bands of the regression line for autocorrelated data of dependent variable  $Y$ . Proceedings of 22nd Conference on Automation 2021 Springer Nature Switzerland AG. ASIC series vol 1390 pp.364 -386. doi.org/10.1007/978-3-03074893-7\_

2. Puchalski, J., A new algorithm for generalization of least square method for straight line regression in cartesian system for fully correlated both coordinates. Int. J Auto AI Mach Learn. 2021;2(2):20-54

## МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ МАТЕРІАЛУ $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$

© Марія Рокоманюк, 2022

Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), аспірантка  
кафедри інформаційно-вимірвальних технологій, e-mail: mariia.v.rokomaniuk@lpnu.ua

Представлені результати моделювання структурних, термодинамічних, кінетичних та енергетичних властивостей чутливих елементів перетворювачів температури на основі напівпровідникового термометричного матеріалу  $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$  дозволять встановити природу структурних та енергетичних дефектів, що зробить процес оптимізації характеристик термометричного матеріалу прогнозованим для отримання максимальної ефективності перетворення теплової енергії в електричну і високих значень електроопору та термо-ерс [1].

Розрахунки розподілу густини електронних станів (DOS), кінетичних характеристик та ентальпії змішування ( $\Delta H_{\text{mix}}$ ), а також оптимізацію параметрів кристалічної структури  $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$  проводили з використанням як методу Корінгі-Кона-Ростокера (KKR) у наближенні когерентного потенціалу та локальної густини, так і повнопотенціального методу лінеаризованих плоских хвиль (FLAPW). Моделювання методом KKR проводились з використанням пакету програм AkaiKKR у наближенні локальної густини для обмінно-кореляційного потенціалу з параметризацією Moruzzi, Janak, Williams в напів-релятивістському врахуванні остовного (core) рівня та спин-орбітальної взаємодії. При розрахунках методом FLAPW використали пакет програм Elk. Розрахунки здійснювались для к-сітки  $10 \times 10 \times 10$ . Зона Бріллюена була розбита на 1000 k-точок, які використовували для розрахунків спектральної функції Блоха та густини електронних станів. Ширина енергетичного вікна вибиралась так, щоб захопити напів-остовні (semi-core) стани р-елементів. Точність розрахунків положення рівня Фермі  $\epsilon_F \pm 6$  meV.

Моделювання термодинамічних характеристик для гіпотетичного термометричного матеріалу  $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ ,  $x=0-1.0$ , у наближенні гармонійних коливань атомів у рамках теорії функціоналу густини DFT дозволяє встановити енергетичну доцільність існування твердого розчину заміщення. Характер поведінки залежностей  $\Delta H_{\text{mix}}(x)$ , отриманих обома методами моделювання, показує енергетичну доцільність існування твердого розчину заміщення для досліджених чутливих елементів  $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ ,  $x=0-0.10$ . У свою чергу, залежності  $\Delta H_{\text{mix}}(x)$   $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$  незначно відрізняються. Так, залежність  $\Delta H_{\text{mix}}(x)$ , отримана з використанням пакету програм Elk, засвідчує, що її ріст у концентраційному діапазоні  $x=0-0.4$  пов'язаний з енергетичною доцільністю утворення твердого розчину заміщення, коли атоми Lu у кристалографічній позиції 4a заміщаються на атоми Sc. Окрім того, залежність ентальпії змішування  $\Delta H_{\text{mix}}(x)$   $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$  проходить через максимум за  $x \approx 0.4$ , а далі монотонно спадає. У свою чергу, залежність  $\Delta H_{\text{mix}}(x)$   $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ , отримана з використанням пакету програм AkaiKKR [1], містить максимум за  $x \approx 0.7$ .

Результати моделювання кінетичних характеристик чутливих елементів перетворювачів температури засвідчили високі значення та напівпровідниковий характер поведінки питомого електроопору  $\rho$  у широкому температурному діапазоні, що забезпечить високу чутливість температурних вимірювань. У свою чергу, значення коефіцієнта термо-ерс  $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$  за концентрацій  $x=0-0.07$  є додатними, а за концентрацій  $x>0.07$  – від'ємними. Це дозволяє з одного матеріалу отримати дві вітки термоелектричного перетворювача для роботи у широкому температурному інтервалі.

*I. Romaka V.A., Stadnyk Yu.V., Krayovskyy V.Ya., Romaka L.P., Guk O.P., Romaka V.V., Mykyuchuk M.M., Horyn A.M. New thermosensitive materials and temperature converters. Lviv, Lvivska Polytechnika, 2020 [in Ukrainian].*

## ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРИТТІВ

© Владислав Романенко

Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), аспірант, vlad.romanenko.24@gmail.com

Визначення і дослідження теплофізичних властивостей тонких покриттів необхідне в багатьох галузях науки й техніки, наприклад, в енергетиці при контролі якості теплозахисних покриттів елементів енергетичного обладнання, в будівельній галузі при визначенні енергоефективних властивостей скляних конструкцій, а також в електроніці, в оптиці, тощо.

Метою даної роботи є визначення особливостей застосування існуючих методів вимірювання теплофізичних характеристик тонких покриттів.

Один із ефективних методів аналізу покриттів є фототермічний метод. Він має низку переваг перед традиційними методами, такими як відсутність будь-якого механічного контакту з досліджуванним зразком, здатність розрізняти поверхню і об'ємні характеристики, має високу точність вимірювань теплофізичних властивостей матеріалів і покриттів.

Методи вимірювання теплопровідності можна класифікувати на методи стаціонарного і нестаціонарного режиму [1–4]. Методи стаціонарного режиму засновані на законі Фур'є, теплопровідність визначають шляхом вимірювання різниці температур при проходженні стаціонарного теплового потоку через зразок [3]. Ці методи безпосередньо вимірюють теплопровідність і підходять для матеріалів із низькою теплопровідністю та композитних матеріалів. Методи стаціонарного режиму мають перевагу в одному напрямку теплового потоку на більшій площі, що враховує вимірювання зразків з анізотропною теплопровідністю та композитів (де потрібно вимірювати більші площі). Похибка результату вимірювання теплопровідності в усталеному режимі становить 2–5%. Однак, ці методи вимагають відносно великих розмірів зразка і більш тривалих тестів, ніж методи нестаціонарного режиму [1–4]. Вони також мають інші недоліки, такі як паразитні втрати тепла та контактний опір через використання поверхневих сенсорів, наприклад, сенсорів температури.

В якості методів нестаціонарного режиму розглядаються метод плоского джерела, гарячого дроту, лазерного спалаху, модульований метод диференціальної сканувальної калориметрії, метод  $3\omega$ , метод термопар [1–4]. Тепловий потік від джерела, що використовуються в нестаціонарних методах, подається або періодично, або у вигляді імпульсів, що призводить до періодичних (вихід фазового сигналу) або нестаціонарних (вихід амплітудного сигналу) змін температури зразка, відповідно [3]. Ці методи визначають коефіцієнт теплопровідності через перехідний тепловий потік під час процесу нагрівання. При цьому, розміри досліджуваних зразків можуть бути на порядки менші ніж при стаціонарному режимі.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що для вимірювання теплофізичних характеристик покриттів найбільш перспективними для реалізації є методи нестаціонарного режиму. Тому, подальші дослідження будуть спрямовані на вибір джерела теплової дії та режиму його роботи.

1. Zhao D, Qiao X, Gu X, Jajja Ayub S, Yang R. Measurement techniques for thermal conductivity and interfacial thermal conductance of bulk and thin film materials. A. Palacios, et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 108 (2019) 32–52

2. Ковтун С.І., Бабак В.П. Аналіз методів вимірювання теплопровідності для дослідження наногетерогенних матеріалів з підвищеною жаростійкістю / Матеріали XII Міжнар. онлайн-конф.: Проблеми теплофізики та теплоенергетики (26-27 жовтня 2021 р.). – Київ, 2021. – С. 104-105 <http://itf.kiev.ua/wp-content/uploads/2021/10/zbirka-tez-.pdf>

## ПОРІВНЯННЯ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ ВЕЛИЧИН РАДІАЦІЙНОГО ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ БІОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

© Юрій Рудик<sup>1</sup>, Віктор Куць<sup>2</sup>, Володимир Марич<sup>3</sup> 2022

<sup>1</sup> Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (Львів, Україна), головний науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності, д.т.н., доцент, rudyk@ldubgd.edu.ua

<sup>2</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), доцент кафедри інформаційно-вимірjuвальних технологій, к.т.н., доцент, ivt@lpnu.ua

<sup>3</sup> Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (Львів, Україна), старший викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці, к.т.н., marych@ldubgd.edu.ua

Ікс-промені, які широко використовуються в медицині, дефектоскопії і багатьох інших областях, зазвичай отримують за допомогою спеціальних вакуумних приладів, які у побуті називаються рентгенівськими трубками. Усередині цих трубок електрони прискорюються за допомогою високого електричного потенціалу і стикаються з металевим анодом. Енергія розігнаних електронів передається атомам металу, які переходять в збуджений стан, виникає складний коливальний процес, що генерує потік випромінювання в рентгенівському діапазоні. На жаль, потік створюваного випромінювання поширюється рівномірно на всі боки, а властивості ікс-променів значно ускладнюють задачу їх фокусування і формування вузького спрямованого променя, більш того, фронт імпульсу ікс-випромінювання в більшості випадків має абсолютно випадкову форму [1]. Загалом, рентгенівське (пулюївське) проміння або ікс-проміння [2] – це електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 10 нм до 0.01 нм (або від 124 еВ (кількість енергії на фотон) до 124 000 еВ). В електромагнітному спектрі діапазон частот рентгенівського випромінювання лежить між ультрафіолетом та гамма-променями.

Для вимірювання питомої та об'ємної активності проб природного середовища без попередньої фізико-хімічної обробки проби використовують радіометри з блоком детектування і вимірjuвальним пристроєм [3]. Блок детектування виконаний на основі сцинтиляційного блоку і призначений для перетворення енергії випромінювання гамма-квантів в електричні імпульси. Пристрій вимірювання призначений для перетворення і вимірювання сигналів з пристрою детектування, надання інформації про вимірювання фізичної величини в зручній для візуального зчитування формі, а також для виведення інформації на зовнішні пристрої.

Принцип роботи радіометра полягає в тому, що під дією енергії гамма-квантів в чутливому об'ємі детектора відбувається висвічування збуджених станів речовини, яке призводить до виникнення сцинтиляції. Фотоелектронний помножувач перетворює сцинтиляції в імпульси електричного струму, а також підсилює цей струм до рівня, що піддається виміру. З виходів фотоелектронних помножувачів імпульси негативної полярності подаються на підсилювачі. Посилені сигнали подаються на вузли відбору, відфільтровують корисний сигнал від шумових імпульсів і (або) від супутнього випромінювання.

Чутливість радіометра при вимірюванні активності радіонуклідів в пробах природного середовища об'ємом 1 л і щільністю від 0,2 до 1.5 г / см<sup>3</sup> по радіонукліду <sup>137</sup>Cs становить 0,035 л/Бк; по <sup>134</sup>Cs – 0,088 л/Бк. Основна похибка радіометра [3] становить  $\pm 50\%$  при вимірюванні активності від 20 до 100 Бк/л і  $\pm 25\%$  при вимірюванні активності > 100 Бк / л. Енергетичний діапазон реєстрації гамма-квантів від 100 кеВ до 2000 кеВ..

У працях [4, 7] розглядаються окремі методи та параметри вимірювання величин радіаційного впливу показників біологічної безпеки. Окремо слід зазначити встановлення

вимог і нормування показників безпеки для виробництва продукції та для стадії експлуатації, у вигляді радіонуклідних аплікаторів з різними способами укладання і випромінювальним обладнанням. В усіх випадках присутня частка матеріалів з властивостями, які створюють цілий ряд небезпечних факторів, що й визначає необхідність дослідження показників біологічної безпеки з допомогою величин радіаційного впливу.

Площинна доза (Dose area product – DAP) – це величина, яка використовується для оцінки радіаційного ризику від діагностичних рентгенівських досліджень та інтервенційних процедур. Вона визначається як поглинена доза, помножена на площу опромінення, виражена в Грей\*квадратних сантиметрах (Гр·см<sup>2</sup> [6] – іноді також використовуються одиниці з префіксом мГр·см<sup>2</sup> або сГр·см<sup>2</sup>). Виробники вимірювачів DAP зазвичай калібрують їх за відношенням поглиненої дози до повітря. DAP відображає не тільки дозу в полі радіації, а й площу тканини, яка опромінюється. Таким чином, це може бути кращим показником загального ризику провокації раку, ніж доза в межах поля. Він також має переваги безпечного для персоналу вимірювання завдяки постійному встановленню DAP-метра на рентгенівському апараті. Внаслідок розходження пучка, випущеного «точковим джерелом», площа опромінення (A) збільшується з квадратом відстані від джерела ( $A \propto d^2$ ), а інтенсивність випромінювання (I) зменшується відповідно до оберненого квадрата відстані. ( $I \propto 1/d^2$ ). Отже, добуток інтенсивності та площі, а отже, і DAP, не залежить від відстані від джерела.

Для вимірювання DAP йонізаційна камера розташовується за рентгенівськими коліматорами і повинна перехоплювати все рентгенівське поле для точного зчитування. Різні параметри рентгенівського обладнання, такі як пікова напруга (кВ), струм трубки (мА), час експозиції або площа поля, також є змінними. Наприклад, рентгенівське поле розміром 5 × 5 см із вхідною дозою 1 мГр дасть значення DAP 25 мГр·см<sup>2</sup>. Коли поле збільшується до 10 см × 10 см з тією ж вхідною дозою, DAP збільшується до 100 мГр·см<sup>2</sup>, що в чотири рази перевищує попереднє значення. Ступінь дії радіаційного впливу у будь-якому середовищі залежить від значення поглинутої енергії випромінювання та оцінюється дозою. Експозиційна доза характеризує іонізуючу здатність випромінювання у повітрі, тобто, її потенційні можливості. За одиницю дози в системі СІ прийнятий кулон (Кл / кг) – це така доза випромінювання, при якій в 1 кг сухого повітря виникають іони, які несуть заряд 1 кулон електрики кожного знаку. Поглинута доза (грей (Gy), в системі СІ – Дж/кг) характеризує енергію, яка поглинута одиницею маси опроміненого середовища, а стосовно біологічного впливу, залежить від виду випромінювання, енергії його часток, щільності потоку, виду тканин організму та тривалості впливу опромінювання.

Висновок. Таким чином, проведені дослідження дають підстави для розрахункового визначення ефективної дози в одиницях вимірювання радіаційного впливу за умовами активності більше 10 мілікюрі еквівалентної по радіотоксичності за <sup>226</sup>Ra розрахункової дози іонізуючого випромінювання, яка становить більше 60,0 мКі.

1. Луцик Я.Т., Буняк Л.К., Рудавський Ю.К., Стадник Б.І. *Енциклопедія термометрії*. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка». 2003 428 с.

2. Пулюй Іван Павлович URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Пулюй\\_Іван\\_Павлович](https://uk.wikipedia.org/wiki/Пулюй_Іван_Павлович).

3. *Прилади радіаційного контролю виробництва НВКП "Спаринг – Віст" Львів, 2000.*

4. Рудик Ю. І., Білик С.І., Черняк О.М. *Розрахункова доза іонізуючого випромінювання на робочому місці. Охорона праці: освіта і практика*, Львів, 2022. С.55-59.

5. Рудик Юрій *Техногенна безпека як результат управління якістю супроводу технологічних процесів, Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції*, Львів, Видавництво Львівської політехніки, 2013.

6. Трищ Р., Горбенко Є., Доценко Н., Кім Н., Кіпоренко А. Розробка кваліметричних підходів до процесів системи управління якістю підприємств згідно з міжнародними стандартами ISO серії 9000. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 4(3), 2016, 18-24.

7. Гаврилко С.В., Барабаш О.В., Аналіз та управління ризиками застосування формувань під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. *Праці міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми моделювання ризиків» К.: УкрНДІЦЗ, 2015. С.166-170.*

8. Hideyuki Mizuno, Wataru Yamashita, Hiroaki Okuyama, Nobuhiro Takase, Taku Nakaji, Shigekazu Fukuda, *Analysis of the uncertainties in the dose audit system using radiophotoluminescent glass dosimeters in Japanese radiotherapy units, Radiation Measurements, Volume 153, 2022, 106753, doi.org/10.1016/j.radmeas.2022.106753.*



## МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

© Юлія Салабай<sup>1</sup>, Наталія Гоц<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, yuliia.i.salabai@gmail.com

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор natalia.gots@lp.edu.ua

Під метрологічним забезпеченням розуміють – встановлення та застосування метрологічних норм і правил а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності і необхідної точності вимірювань.

Метрологічне забезпечення складається з наукової, законодавчої, технічної та організаційної основ. Науковою основою метрологічного забезпечення є метрологія. Законодавчою основою метрологічного забезпечення є Закони України, Декрети і постанови Кабінету Міністрів України, які спрямовані на забезпечення єдності вимірювань. Нормативною основою метрологічного забезпечення є державні стандарти та інші документи державної системи забезпечення єдності вимірювань (ДСВ), відповідні нормативні документи Держстандарту України, методичні вказівки та рекомендації.

Наявність інтегрованої системи управління є дуже важливою, з точки зору помічника в досягненні бажаних результатів підвищення ефективності своєї діяльності – кожен бізнес суб'єкт, який динамічно розвивається на ринку, прагне підвищити свою конкурентоспроможність і задовольнити потреби споживачів.

Інтегрована система управління дозволяє перевести на більш високий рівень всі бізнес-процеси управління виробництвом, діяльності будь-якого підприємства, в тому числі, щодо скорочення витрат часу на проведення випробувань з урахуванням підвищення якості виконуваних робіт: моніторинг та управління станом обладнання при виконанні вимірювань та визначенні алгоритму реалізації їх методики виконання.

Під інтегрованою системою управління розуміється система, побудована на основі відповідності вимогам двох або більше міжнародних стандартів на системи управління.

До основних переваг ІСМ відносяться наступні:

- інтегрована система забезпечує більшу узгодженість дій всередині організації;
- інтегрована система мінімізує функціональну роз'єднаність в організації, що виникає при розробці автономних систем менеджменту;
- створення інтегрованої системи менш трудомістким, ніж декількох паралельних систем;
- число внутрішніх і зовнішніх зв'язків в інтегрованій системі менше, ніж сумарне число цих зв'язків в декількох системах;
- обсяг документів в інтегрованій системі менше, ніж сумарний обсяг документів в декількох паралельних системах;
- в інтегрованій системі досягається більш висока ступінь залученості персоналу в поліпшення діяльності організації;
- витрати на розробку, функціонування і сертифікацію інтегрованої системи нижче, ніж сумарні витрати при декількох системах менеджменту.

Інтегровані системи управління володіють істотним потенціалом для підвищення результативності діяльності організації та її привабливості для різних груп зацікавлених сторін. Залежність привабливості організації для зацікавлених сторін при впровадженні систем менеджменту, що відповідають вимогам міжнародних стандартів.

Важливими умовами метрологічного забезпечення є: надійні технічні засоби контролю та наявність нормативних документів, що відображають основні вимоги до якості.

Метрологічне забезпечення інтегрованої системи управління охоплює всі стадії життєвого циклу продукції, починаючи з етапу науково-дослідницьких та експериментально-конструкторських робіт, а саме:

- аналіз стану вимірювань;
- встановлення раціональної номенклатури вимірюваних величин та використання засобів вимірювання (робочих та еталонних) належної точності;
- здійснення перевірки та калібрування засобів вимірювання;
- розроблення методик виконання вимірювань для забезпечення встановлених норм точності;
- здійснення метрологічної експертизи конструкторської і технологічної документації;
- упровадження необхідних нормативних документів (національних, галузевих, стандартів підприємств);
- акредитацію на технічну компетентність;
- здійснення метрологічного нагляду.

На даний час стратегія поведінки будь-якого суб'єкта господарювання змінилася. Фокус полягає не лише в максимізації прибутку з мінімальним споживанням ресурсів, а й у розширенні клієнтська база за рахунок виробництва якісної продукції.

Інтегрована система управління заснована на ряді міжнародних і національних стандартів, які передбачають випуск безпечної та якісної продукції завдяки ефективному метрологічному забезпеченні та функціонуванню бізнес-моделі.

*1. Метрологічне забезпечення вимірювання і контролю / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк.*

*2. Забезпечення метрологічної надійності в розпорошених вимірювальних системах / В. О. Яцук, Т. З. Бубела, М. М. Микійчук, Є. В. Походило*

*3. Системи управління якістю / Т. О. Кузьміна, В. В. Євтушенко*

*4. Метрологічне забезпечення якості виробництва / О. Й. Гонсьор, М. М. Микійчук*

**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ**© Ігор Сидорко <sup>1</sup> Роман Байцар <sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Державне підприємство «Львівський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації» (ДП «Львівстандартметрологія»), Україна, провідний інженер, sydorko-i@ukr.net

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка», кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, Україна, доктор технічних наук, професор, baitsar@ukr.net

Вимірювання є єдиним засобом отримання точної кількісної інформації про параметри, які характерні для тих чи інших фізичних явищ або процесів. З цієї причини розроблення нових механізованих засобів, приладів, а також пряма реалізація складних технічних виробничих процесів у розвитку промисловості пов'язані із потребами точного виміру чималої кількості фізичних значень. Водночас, на сучасному етапі розвитку вимірювальної техніки важливим є дотримання принципів єдності вимірів («traceability»), тобто слідування такому стану замірів, характерною ознакою, яких є вираження результатів в узаконених одиницях, значення котрих у заданих межах дорівнює розмірам одиниць, що відтворюються первинними еталонами, а похибки при визначенні результатів вимірювань відомі наперед і із певною ймовірністю не виходять за встановлені межі. Виконання подібного завдання передбачає залучення новітнього обладнання, яке потребує нових підходів до конструктивного та використання відповідних матеріалів.

Проблема прикладного використання інформаційно-вимірювальних технологій не нова у науці. Зокрема, до окремих аспектів їхнього використання зверталися О. Крюков [1], О. Полярус [2] та С. Герасимов [3].

Зосередимо увагу на певних недооцінених на нашу думку перспективах уживання інформаційно-вимірювальних технологій.

Надійність транспорту є важливим критерієм безпеки у сучасному суспільстві. Разом з підвищення вимог до транспортних засобів зростання потреби у контролі умов їхньої експлуатації та правила отримувачів стандартів. Зокрема, в цій сфері вдаються до стандартів двох категорій: стандарти експлуатації транспортних засобів з та стандарти вимірювання параметрів експлуатаційних показників транспорту. Усі види транспорту так чи інакше мають відповідати пропонованим стандартам. У такому випадку важливість метрології й інформаційно-вимірювальних технологій є надзвичайно важливими, необхідними складовими у цій галузі економіки [4]. Для того, аби проаналізувати справність машини чи спрогнозувати її поведінку, необхідно щоби її динамічні властивості були відомими та сталими, а дестабілізаційні чинники – зведені до мінімумів. Проте динамічні характеристики машин на дорозі зазнають змін, тобто вони є різними за умов використання різних передач, навантажень та стану дорожнього покриття (зокрема, чималий вплив має відсоток ухилу дороги). Відповідно, з'являється потреба у розробленні чітких правил оптимального вимірювання за умов змінних динамічних характеристик.

Абстрактну схему функціонування подібного алгоритму можна окреслити наступним чином. Сталі початкові відомості зводяться до значень лінгвістичних змінних в спеціальному блоці. Надалі виконуються порядки нечіткого висновку на із використанням продукційних правил, які становлять основи системних знань, завдяки чому утворено кінцеві результати, які передаються для комп'ютерного аналізу, що дозволить візуалізувати отриманий матеріал. Подібна концептуальна схема може стати підставою для роботи із нечітким вимірювальним контролером, який використовується в інтелектуальних системах опрацювання невизначеної інформації. Інший приклад – аналіз стану дорожнього покриття, що є актуальною проблемою у комплексі експлуатаційних заходів, які забезпечують відповідність дорожніх характеристик встановленим у державних актах вимогам. Відповідно, важливим завданням у діагностиці дорожнього покриття є вчасний вияв пошкоджень у дорожній структурі.

У сучасних умовах ці технічні завдання розв'язуються контактними та неконтактними способами, у тому числі локаційним і оптичним. Ці методи складно назвати універсальними, тому що вони мають обмежені можливості. Наприклад, для розпізнавання вигляду ями на записах відеокамер, використовують спеціальний комп'ютерний софт, який дає можливість оцінити великі градієнти, які виникають у кадрі. Водночас, за умов поганого освітлення ідентифікація ям ускладнюється, і у подібних системах з'являються проблеми.

Зазначену проблему дослідники пропонували вирішити завдяки використанню полів фрактальних розмірностей, які при застосуванні на різних ділянках дороги дали змогу визначити важливу закономірність: ями або сторонні предмети на дорогах постійно спричиняють різкі провали у гістограмах полів фрактальних розмірностей. Це вказує на можливість автоматичного виявлення ушкоджень дорожнього покриття на підставі аналізу його гістограми. Для використання подібних методик необхідними є лише відеокамера та комп'ютер із спеціальними програмами. Щоправда, подібна методика усе ще потребує доопрацювання з огляду на те, що можливі провали у гістограмах ще не означають наявності ями у цьому місці. Зокрема, на цьому місці дорога може мати інший колір через бруд, низьку якість освітлення тощо, тому можливі провали у гістограмі полів фрактальних розмірностей можна вважати необхідною, але не критичною умовою виявлення порушення цілісності дорожнього покриття [5]. Водночас, подібний метод використання інформаційно-вимірювальних технологій у перспективі може стати основою для паралельного покращення застосування у сфері ремонту та діагностики якості доріг.

Застосування нових інформаційно-вимірювальних технологій призвело до ширшого впровадження комп'ютерів та цифрових систем, які своєю чергою, призвели до потреби впровадження спеціальних алгоритмів. Очевидно, подальше їх удосконалення призведе до появи нового цифрового ядра, яке стане основою для наступних цифрових вимірювальних та обчислювальних засобів і стандартних пристроїв введення та виведення отриманої підсумкової інформації на цифровий носій. Наступним етапом стане значно ширше використання системних перетворювачів, які забезпечать точніше вимірювання, що дасть змогу докладніше сприйняти інформаційні поля у досліджуваних величинах. Це суттєво зменшить потік інформації, скоротить витрати часу на обробку, підвищить стабільність роботи інформаційно-вимірювальних систем. Очевидно, такі ядра будуть засновані на широкому використанні мікроелектронних схем та нанотехнологій. Це забезпечить значно ширші можливості у вимірюваннях та опрацюванні інформації, неможливі у технологіях попередніх поколінь.

Висновки. Отож, використання нових інформаційно-вимірювальних технологій у транспортній галузі є вельми перспективними з точки зору їх оптимізації. Зокрема вказано на можливість застосування абстрактного алгоритму для роботи із нечітким вимірювальним контролером, який стане перспективним у правилах оптимального вимірювання за умов змінних динамічних характеристик. Звернено увагу на перспективність використання методу інформаційно-вимірювальних технологій для можливостей покращення способів ремонту та обслуговування дорожнього покриття, що значно полегшить якість діагностики доріг. На нашу думку, доцільним у цих процесах стане використання потужніших обчислювальних машин на базі нових процесорних ядер.

1. О. Б. Крюков. *Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології. Новий Колегіум. 2011. № 2. С. 95–96.*

2. О. В. Полярус. *Нові інформаційно-вимірювальні технології при виявленні порушень структури дорожнього покриття. Вестник ХНАДУ. – 2009. – Вып. 44. – С. 87–89.*

3. С. Герасимов. *Аналіз формування багаточастотних сигналів лазерної інформаційно-вимірювальної системи. EUREKA: Фізика та техніка. – 2019. – № 5. – С. 19–28.*

4. А. О. Коваль, Д. Є. Петрукович. *Використання алгоритмів нечітких вимірювань параметрів для діагностики дорожніх машин. VII Міжнародна наукова і технічна конференція з метрології. Харків, 2020. С. 107–108.*

5. Дж. Ван, О. Кочан, К. Пишутупа, Я. Су. *Інформаційно-вимірювальна система для дослідження термпар з контрольованим температурним полем. Огляд Науки Вимірювання. – 2019. – Вып. 19(4). – С. 161–169.*

## ТЕРМОСТРУКТУРНА СТАБІЛЬНІСТЬ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛЕВИХ АМОΡФНИХ СТОПІВ

© Пилип Скоропад<sup>1</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри інформаційно-вимірних технологій, д.т.н., професор, [pylyp.i.skoropad@lpnu.ua](mailto:pylyp.i.skoropad@lpnu.ua)

Проведені дослідження термоструктурної стабільності металевих аморфних стопів (МАС) з метою застосування їх в електротермометрії, показують, що досягнути бажаних структурних та електрофізичних властивостей МАС можна шляхом оптимального вибору не так складу, як умов гартування та наступної їх термообробки. Про важливість останньої для підвищення термічної стійкості МАС можна судити з результатів проведеного циклу релаксаційних відпалів (протягом 10 хв.) при температурах, нижчих за температуру початку їх кристалізації  $T_K$ . При цьому виявлено локальні піки електроопору. Це явище можна тлумачити як прояв екзотермічного ефекту під час релаксації структури досліджуваних МАС.

Також в процесі досліджень виявлено, що екзотермічний ефект залежить від складу МАС та їх попередньої термообробки. Частково підвищити стабільність електрофізичних властивостей МАС при температурах, нижчих за  $T_K$ , можна шляхом відповідного вибору їх складу. Так, для  $Fe_{80}B_{20}$  втрата пластичності настає при  $\approx 550$  К, що вище за їх температуру релаксаційного відпалу  $T_r$  на 70 К, в той час як для МАС системи  $Ti-Cu-Co$  втрата пластичності настає при  $\approx 700$  К, що вже на 125 К вище за їх  $T_r$ .

Бінарні МАС взагалі не відзначаються високою термічною стабільністю електрофізичних властивостей. Легування ж цих матеріалів елементами з відмінним атомним радіусом спричиняє різке зростання як термічної стійкості, так і схильності їх до аморфізації.

Аналізуючи результати досліджень температур початку кристалізації –  $T_K$ , втрати пластичності –  $T_B$  та релаксаційного відпалу –  $T_r$  для МАС системи  $Fe_{80}PM_3B_{17}$  де  $PM$  – перехідний метал, виявлено, що для МАС даної системи  $T_r$  і  $T_B$  суттєво нижчі за їх  $T_K$ . Проте, в МАС на основі заліза, що містять бор чи фосфор, має місце втрата пластичності внаслідок активізації в них процесів кристалізації.

Результати проведених досліджень дають підстави вважати, що композиції перехідних елементів зі шляхетними мають підвищену пластичність внаслідок  $s-d$  –гібридизації. Перехідні ж метали з ОЦК граткою більш схильні до втрати пластичності в порівнянні з металами із ГЦК граткою. В МАС, де заліза більше 60 ат.%, переважає кристалізація з утворенням ОЦК гратки і вони мають підвищену схильність до втрати пластичності. Це явище можна пояснити наступним чином: якщо структурний стан МАС упорядковується, що проявляється в зміні координаційного числа від  $Z=12$ , що відповідає щільно пакованим структурам, до  $Z$ , що характеризує кристалічні системи (наприклад,  $Z=8$  для ОЦК гратки), то при досягненні впорядкування в МАС виникають внутрішні механічні напруження, які й спричиняють втрату пластичності.

В процесі виконання досліджень встановлено, що:

- найбільш стабільні МАС можна отримати на основі елементів з високою температурою топлення  $T_T$ , а отже, перспективними, зокрема, є бінарні системи перехідних металів з 4-6 періодів IV – VIII груп періодичної системи елементів з  $T_T > 2700$  К;
- стабільність, структура та умови одержання МАС корелюють між собою, а отже, стабільні високотемпературні зразки їх можна отримати при швидкостях гартування  $V_c \geq 10^6$  К/с із групи складів, що відповідають фазам зі складноупакованою структурою.

Основною прикметою для пошуків МАС такого типу є наявність глибоких евтектик на їх діаграмах стану. В системах бінарних стопів з елементів V – IX груп висока міцність та

термічна стабільність – функції відповідних властивостей їх компонентів (зокрема, високих значень модулів пружності та  $T_T$ ). Проте, складність одержання МАС на базі елементів з високою  $T_T$  суттєво негативно впливає на їх асортимент.

З метою вирішення проблеми стандартизації електрофізичних параметрів МАС для цілей термометрії, запропоновано використовувати в процесі нормування три основні групи чинників, які впливають на властивості вихідного продукту, а саме: технологічні; термодинамічні; структурні.

Для всіх методів гартування з рідкої фази нормування значення  $V_z$  має вирішальне значення, оскільки визначає вже саму можливість досягнення і тотальної фіксації аморфного стану. Так, при гартуванні МАС методом екструзії розтопів з охолоджуваного тигля, як показують результати проведених досліджень, використання нікелевого тигля замість мідного чи срібного, для незмінних всіх інших параметрів, при температурі розтопу 1500 °С знижує  $V_z$  приблизно в 5 разів.

Однак, в справі стандартизації параметрів як самих МАС, так і технологічного процесу їх одержання, важливим є не стільки теоретична досконалість розрахунку цих параметрів, скільки однозначність та простота методик їх визначення і підтримування. З метою розробки таких методик в роботі використано багатий експериментальний матеріал. Враховуючи, що сила зчеплення гартованого матеріалу з гартувальною поверхнею не змінюється в межах дуги їх термодинамічного та механічного контактів, запропоновано емпіричну залежність для визначення швидкості гартування:

$$V_z = \frac{\pi n}{\alpha} (1.4T_p - T_z),$$

де  $n$  – швидкість обертання гартувальної поверхні;  $T_p$ ,  $T_z$  – відповідно, температура розтопу та гартувальної поверхні;  $\alpha$  – кут контактування гартованого матеріалу.

Для переважної більшості гартувальних пристроїв на  $V_z$  суттєво впливає значення кута контактування  $\alpha$  гартованого матеріалу з гартувальною поверхнею. Показано, що слід нормувати та стабілізувати його значення, оскільки це має вплив як на дотримання стабільності, так і на саме значення швидкості гартування.

З огляду на відсутність простих і ефективних експрес-методів оцінки структурного стану МАС і враховуючи високу трудомісткість і тривалість застосування наявних на сьогоднішній день методик визначення їх структурних параметрів, в роботі запропоновано використання параметра аморфності  $\Psi_A$ , що визначається з експериментальних залежностей зміни електроопору МАС в функції температури:

$$\Psi_A = \frac{R_{TK}^{(A)} - R_{TK}^{(K)}}{R_{300}^{(A)}},$$

де  $R_{TK}^{(A)} - R_{TK}^{(K)}$  – відповідно, різниця їх електроопорів в аморфному та кристалічному станах при  $T_K$ , віднесена до значення їх електроопору в аморфному стані при температурі 300 К.

Виявлено кореляцію між  $\Psi_A$ , типом переважаючого вкладу в електроопір, температурним коефіцієнтом опору (ТКО) та термічною стійкістю електрофізичних параметрів МАС, а саме: чим вище значення  $\Psi_A$  – тим вище ступінь аморфності матеріалу і  $T_K$ , але тим менше абсолютне значення ТКО.

Проведений в роботі комплексний аналіз результатів досліджень показує, що МАС можуть тривалий час перебувати в аморфному стані не змінюючи своїх електрофізичних властивостей (зокрема, стопи системи **Ti-Cu-Ni-Si** при 100К – більше 50 років, а при 600К – понад 20 років) під впливом сталого теплового навантаження без розвитку в них кристалізаційних процесів, що вказує на реальну перспективу їхнього застосування для виготовлення прецизійних термоперетворювачів для застосування в електротермометрії.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ РУХУ ТА СКЛАДУ ГАЗОВОГО ПОТОКУ НА ЧУТЛИВІСТЬ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

© Орест Середюк<sup>1</sup>, Віталій Ткачук<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Івано-Франківськ, Україна), завідувач кафедри метрології та інформаційно-виміральної техніки, д.т.н., професор, mivt@nung.edu.ua

<sup>2</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Івано-Франківськ, Україна), аспірант кафедри метрології та інформаційно-виміральної техніки, vitalio777777@gmail.com

Зважаючи на потенційне зменшення обсягів постачання значної кількості природного газу до нашої держави та наявність реальних проблем у збільшенні видобутку природного газу в Україні було та залишається актуальним питання покращення метрологічних аспектів обліку цього виду енергоносія, в тому числі із застосуванням нових технічних реалізацій методів вимірювання.

Поряд з цим одним із напрямків збереження природного газу при одночасному забезпеченні або підвищенні енергетичної цінності газового палива є додавання газоподібного водню як компонента утворюваної газової суміші. Тому це також потребує дослідження і удосконалення засобів для обліку таких сумішей. На погляд авторів для цього можуть бути використані термоанемометричні методи вимірювання витрати [1]. Однак на сьогодні практично відсутні математичні моделі функціонування засобів обліку газозводневих сумішей.

Метою роботи є дослідження впливу швидкості як кількісної характеристики потоку газових середовищ різного складу на чутливість термоанемометричних перетворювачів.

Як відомо, принцип дії термоанемометрів полягає у використанні залежності між втратою тепла неперервно нагрітого тіла, наприклад дроту чи пластини, яке омивається газовим потоком, і швидкістю газового потоку з врахуванням наявного впливу якісних характеристик потоку.

Для дослідження чутливості термоанемометричних перетворювачів від якісного складу та швидкості газового потоку використане така математична залежність зміни електричного опору чутливого елемента (інформативний параметр) від впливових параметрів [2]:

$$R_D = \frac{R_C \pi l_D \lambda (k(T_C - T_G)(0,42 \text{Pr}^{0,2} + 0,57 \text{Pr}^{0,33} (\text{Re})^{0,5}))}{I^2 k R_C - \pi l_D \lambda (0,42 \text{Pr}^{0,2} + 0,57 \text{Pr}^{0,33} (\text{Re})^{0,5})}, \quad (1)$$

де  $R_C$ ,  $l_D$ ,  $T_C$ ,  $k$  – опір, довжина, температура та температурний коефіцієнт зміни електричного опору платинового чутливого елемента (дроту) за стандартних умов відповідно;  $I$  – робочий струм нагрівання термоанемометричного перетворювача;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності газового потоку;  $T_G$  – температура газу за робочих умов;  $\text{Pr} = \mu \cdot c_p / \lambda$  – число Прандтля;  $\text{Re} = \rho \cdot v \cdot d_D / \mu$  – число Рейнольдса стосовно функціонування термоанемометра.

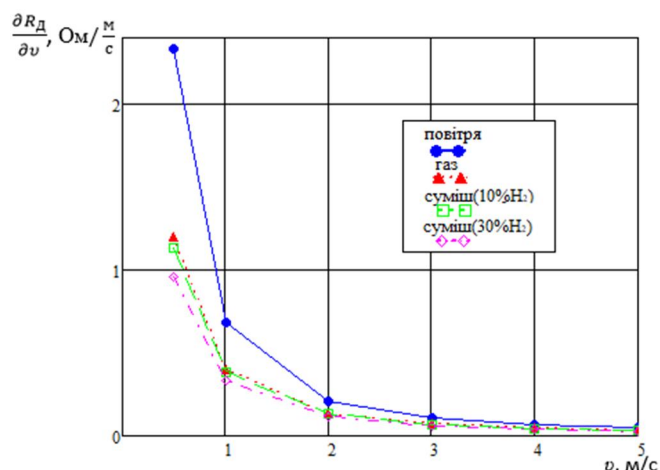
У формульному записі чисел  $\text{Pr}$  і  $\text{Re}$  використані позначення:  $\mu$  – динамічна в'язкість;  $c_p$  – ізобарна теплоємність;  $\rho$  – густина робочого середовища;  $v$  – швидкість газового потоку;  $d_D$  – діаметр дроту термоанемометричного перетворювача.

Так як у формулі (1) швидкість потоку не виражена безпосередньо, а числа  $\text{Re}$  і  $\text{Pr}$  опосередковано враховують характеристики газового потоку, то достатньо складною задачею є диференціювання цього виразу відносно параметрів швидкості і якісних характеристик газового потоку. Тому при визначенні чутливості, як часткової похідної, використовувався імітаційний метод розрахунку приростів вхідних параметрів і отримуваних змін інформативного сигналу (опору термоперетворювача).

При моделюванні задавалися такі значення параметрів швидкості потоку від 0,5 м/с до 5 м/с при температурі робочого середовища 20 °С та його абсолютному тиску 0,1 МПа. Розрахунки здійснювалися за приростів швидкості 0,05 м/с при вибраних фіксованих швидкостях потоку 0,5; 1; 2; 3; 4; 5 м/с. Отримувані зміни електричного опору відносно цих значень

дали можливість встановити відношення зміни електричного опору чутливого елемента  $R$  до заданої зміни швидкості потоку  $v$ . Відповідно до входніх параметрів отримано такі графіки зміни чутливості термоанемометричного перетворювача щодо швидкості потоку в повітряному, газовому та газоводневих середовищах (рис. 1).

Рис. 1. Залежність чутливості термоанемометричного давача від швидкості потоку



При моделюванні складу природного газу та сумішей природного газу з воднем 10% та 30% за об'ємним вмістом (табл. 1) враховувався вплив на значення теплофізичних ( $\lambda$ ,  $c_p$ ) і якісних ( $\mu$ ,  $\rho$ ) характеристик газового середовища, які додатково розраховувалися з використанням відповідних алгоритмів[3].

Таблиця 1

**Об'ємний компонентний склад досліджуваних газів (у відсотках)**

| Назва         | Метан | Етан  | Пропан | Бутан | Пентан | Гексан | Азот  | Вуг.газ | Водень |
|---------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|---------|--------|
| Природний газ | 90,84 | 2.623 | 1.384  | 1.011 | 0.861  | 0.844  | 1.508 | 0.932   | 0      |
| Газова суміш  | 87.3  | 1.53  | 0.369  | 0.135 | 0.09   | 0      | 0.405 | 0.171   | 10     |
| Газова суміш  | 67.9  | 1.19  | 0.287  | 0.105 | 0.07   | 0      | 0.315 | 0.133   | 30     |

За результатами моделювання отримано апроксимаційні залежності чутливості термоанемометричного давача від швидкості потоку від 0,5 м/с до 5 м/с для повітряного, газового та газоводневих середовищ за температури 20 °С та абсолютному тиску 0,1 МПа.

$$\frac{\partial R_d}{\partial v_{\text{п}}} = 0.6992 v_{\text{п}}^{-1.6897} \quad \frac{\partial R_d}{\partial v_{\text{г}}} = 0.4030 v_{\text{г}}^{-1.5656} \quad \frac{\partial R_d}{\partial v_{\text{Н10}}} = 0.3837 v_{\text{Н10}}^{-1.5523} \quad \frac{\partial R_d}{\partial v_{\text{Н30}}} = 0.3837 v_{\text{Н30}}^{-1.5523} \quad (4)$$

**Висновки.** Результати моделювання показують, що чутливість термоанемометричного давача зростає із зменшенням швидкості потоку. При цьому чутливість при вимірюванні витрати повітря є більшою від чутливості при вимірюванні природного газу, а також сумішей природного газу з воднем. Збільшення об'ємного вмісту водню приводить до зменшення чутливості термоанемометричного методу вимірювання.

Результати виконаних досліджень обґрунтовують необхідність розроблення та удосконалення технічних рішень в сфері обліку, які забезпечать одночасну якісну та кількісну оцінку досліджуваного середовища.

1. Середюк О. Є., Криницький О. С., Ткачук В. В. Сучасні тенденції розвитку термоанемометрії у сфері обліку природного газу. *Український метрологічний журнал*. 2020. № 3А. С. 51–55.

2. Малісевич В. В. Контроль енергетичної цінності природного газу із застосуванням термоанемометричних перетворювачів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к.т.н. : 05.11.13. Івано-Франківськ, 2015. 20 с.

3. Ткачук В. В., Середюк О. Є., Боднар Р. Т., Саманів Л. В. Моделювання впливу компонентного складу та вологості природного газу на його теплофізичні характеристики. *Перспективні технології та прилади: зб. наук. праць Луцького НТУ*. 2021. № 18. С. 129–137.



## ОЦІНКА ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХВИЛІ СТИСНЕННЯ ПРИ ВИСОКОВОЛЬТНОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ РОЗРЯДІ У СИСТЕМІ «ГАС – ПОРОШОК ТІ»

© Андрій Торпаків<sup>1</sup>, Ольга Сизоненко<sup>2</sup>, Едуард Тафтаї<sup>3</sup>, Раса Кандротайте Янупієніс<sup>4</sup> 2022

<sup>1</sup> Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, к.т.н., с.н.с., torpakov@gmail.com;

<sup>2</sup> Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, д.т.н., голов.н.с.;

<sup>3</sup> Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м.н.с.;

<sup>4</sup> Каунаський технологічний університет, Литва. к.т.н., доцент

Обробка порошків металів високовольтним електричним розрядом (ВЕР) у вуглеводневій рідині дозволяє отримувати якісну вихідну шихту для отримання твердих сплавів, карбідосталей та інших метало-матричних композитів. Також отримані порошки можуть бути використані як наповнювач для епоксикомпозитів або модифікатор структури литих сплавів та зварних швів. Ефективність обробки порошків ВЕР залежить від комплексу факторів, серед яких як ті, що піддаються прямому вимірюванню (сила струму у каналі розряду та тиск хвилі стиснення на стінці розрядної камери), так і ті, що складно оцінити напряму (такі, як швидкість розповсюдження хвилі стиснення).

Складність дослідження цієї характеристики пов'язана з тим, що традиційно дослідження характеристик ВЕР виконується шляхом зняття осцилограм з датчика струму та дільника напруги для електричних характеристик та за допомогою хвильоводного датчику тиску для гідродинамічних характеристик. Але якщо для електричних процесів при ВЕР характерний час становить  $1-40 \cdot 10^{-6}$  с, то гідродинамічні процеси можуть розвиватись впродовж  $50-200 \cdot 10^{-6}$  с. Це ускладнює синхронізацію запису електричних та гідродинамічних характеристик, особливо при записі їх на єдиний багатоканальний осцилограф. Використання окремих осцилографів також не вирішує проблеми синхронізації повністю. Використання окремого синхронізуючого сигналу також не було можливим через стохастичний характер розвитку ВЕР – для осцилографа, який використовується для запису електричних характеристик ВЕР, необхідно було забезпечити запуск саме в момент формування каналу розряду, який не піддається прогнозуванню та може змінюватись у дуже широкому діапазоні навіть при обробці із повністю однаковими параметрами.

Тому було запропоновано та використано методику оцінки швидкості хвилі стиснення при високовольтному електричному розряді у системі «гас – порошок Ті», яка заснована на синхронізації осцилографа за електричною наводкою, яка виникає у вимірювальному контурі у момент формування каналу ВЕР. Визначення затримки між закінченням цієї наводки (що тотожно моменту припинення існування каналу ВЕР) та початком реєстрації датчиком профілю хвилі стиснення дозволяє встановити час, за який хвиля стиснення доходить від міжелектродного проміжку до місяця розташування датчика на стінці розрядної камери).

Використання запропонованої методики дозволило експериментально встановити умови формування ударної хвилі при ВЕР у дисперсній системі «порошок – гас» та зв'язок швидкості фронту хвилі тиску при ВЕР у дисперсній системі «порошок – рідина» з кількістю дисперсної фази та параметрами розрядного контуру. Показано, що умовою формування ударних хвиль при ВЕР у гасі з додаванням порошку Ті із співвідношенням твердої та рідкої фаз 1/9 та 1/18 при  $U=50$  кВ є забезпечення ємності батареї накопичувачів не менше 0,8 мкФ та індуктивності розрядного контуру не більше 0,9 мкГн. Це дозволило оптимізувати режими ВЕР обробки та підвищити ефективність диспергування та карбідизації порошку Ті.

## ПРОЦЕС ПРОГНОЗУВАННЯ ЯК СКЛАДОВА КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ У АГРОПРОМИСЛОВОМУ СЕКТОРІ

© *Тетяна Федюшин<sup>1</sup>, Тетяна Бубела<sup>2</sup>, 2022*

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, tetiana.i.fedyshyn@lpnu.ua

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор, tetiana.z.bubela@lpnu.ua

Досягнення сільськогосподарських і біологічних наук, розкриття суті багатьох біологічних явищ, розробка методів контролю і обліку на посівах сільськогосподарських культур дають змогу коригувати процеси формування врожаю і якості продукції. Наукові методи управління передбачають прогнозування, планування та організацію виробництва. Це дає змогу перевести процес виробництва певного виду рослинницької продукції на наукову строго контрольовану якісну основу і тим самим реалізувати в рослинництві елементи одного з найбільш перспективних напрямів науково-технічного прогресу – програмування врожайів. Програмування передбачає розробку програми, тобто оптимального кількісного співвідношення регульованих факторів з урахуванням малорегульованих і нерегульованих погодних умов, які в системі технологічного процесу забезпечують одержання запланованої врожайності при найбільш економному витрачанні наявних ресурсів. Прогнозування як складова частина програмування врожайів передбачає розробку прогнозу, тобто ймовірного уявлення про теоретично можливу врожайність, яка забезпечується ресурсами кліматичних факторів, родючості ґрунту, добрив, засобів захисту посівів тощо.

Зернове виробництво є однією з тих галузей економіки України, яка в останні роки забезпечує стабільні прибутки завдяки позитивній динаміці експорту. Підґрунтям для планування довгострокової стратегії експорту зерна є прогнозування врожайності зернових культур. На сучасному етапі для побудови прогнозних моделей використовується найсучасніші концепції економікоматематичного моделювання: методи фрактального та інтелектуального аналізу еволюції систем, інструментарій нечіткої логіки та штучних нейронних мереж. Іншими словами, прогноз встановлює потенційні можливості зернових культур у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах, а програма через управління реалізує потенціал прогнозу.

Завданням ґрунтового моніторингу є контролювання динаміки основних фізичних, хімічних, біологічних та інших ґрунтових процесів у природних умовах та за антропогенних навантажень. Згідно з концепцією ґрунтового моніторингу мета моніторингу – це отримання інформації для вироблення управлінських рішень щодо стабілізації і поліпшення якості ґрунтів, екологізації землеробства. Для об'єктивного інформаційного забезпечення і прийняття правильних рішень ґрунтовий моніторинг повинен забезпечувати вихідні, поточні та періодичні дані про основні характеристики ґрунтового покриву. Тому, ще актуальніше постає питання впливу температури ґрунту на ріст рослин за глобальних змін клімату, що стимулює підвищення інтересу вчених до вивчення механізмів і впливу температури ґрунту на рослинні екосистеми.

Проведені дослідження і моніторинг показали високу ефективність застосування моделі штучних нейронних мереж для довгострокового прогнозування нестационарних випадкових процесів на прикладі врожайності озимої пшениці. Оптимальний варіант прогнозованої моделі представлений нижче:

Виходячи з важливості контролю стану ґрунту, була розроблена підсистема збору інформації для кіберфізичної системи моніторингу агровиробництва, яка передбачає вимірювання таких основних параметрів, як вологість та температура ґрунту, кислотність та щільність ґрунту. Розроблена підсистема забезпечує візуалізацію вимірювальної інформації у формі,

зрозумілій для користувача. Підсистема поєднає в собі реалізацію програмного, апаратного рішення, і прогнозування на основі нейронної мережі.

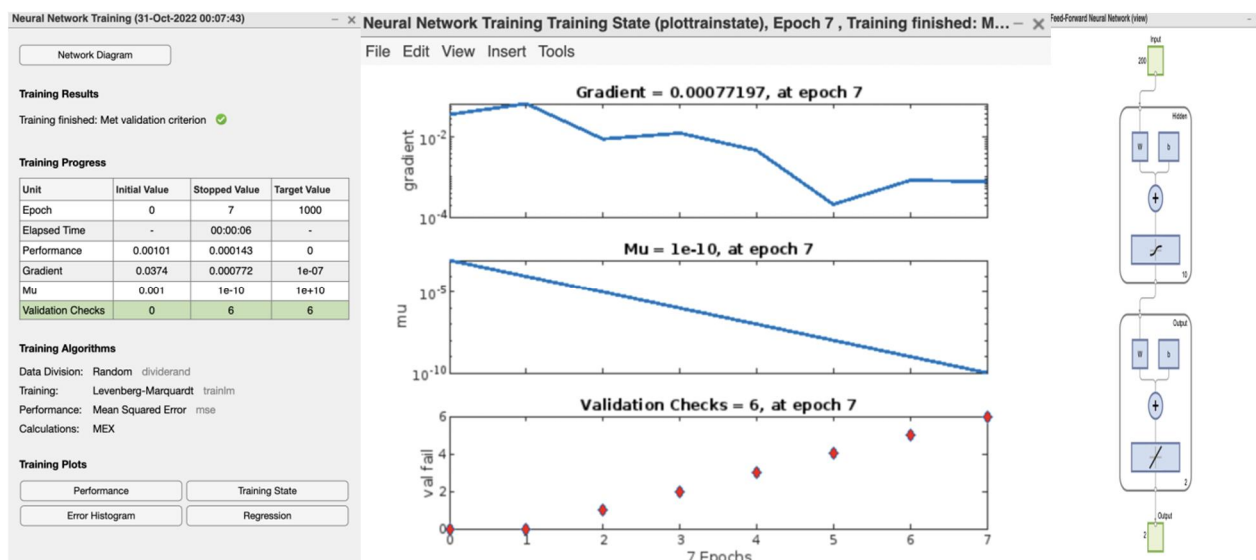


Рис. 1. Модель нейронної мережі для прогнозування врожаю зернових культур, як частина КФС

Встановлено, що оцінювання стану ґрунтів на основі оперативного моніторингу їх основних параметрів є необхідним для побудови прогностичних математичних моделей якості ґрунту. Це дасть можливість формувати коректні управлінські рішення для підтримки параметрів земельних угідь на належному рівні та своєчасного здійснення коригувальних заходів. КФС об'єднують інформацію від інтелектуальних датчиків, розподілених у фізичному середовищі, для кращого розуміння середовища і виконання більш точних дій. У фізичному контексті виконавчі елементи на основі одержаних даних вносять зміни в середовище проживання користувачів. У віртуальному контексті КФС застосовуються для збору даних про віртуальні дії користувачів, таких як використання соціальних мереж, блогів і сайтів електронної комерції. Потім кіберфізичні системи певним чином реагують на такі дані, прогножуючи дії або потреби користувачів в цілому. Тому було створено підсистему, яка даватиме можливість оперативно проводити тести у відкритому ґрунті та миттєво реагувати на зміну його важливих параметрів, а у поєднанні з прогнозування, на основі нейронної мережі, допомогти користувачеві прийняти правильні управлінських рішень щодо стабілізації і поліпшення якості врожаю.

1. Системи управління вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання: ДСТУ ISO 10012:2005 (ISO 10012:2003 IDT). – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 19 с. – (Національний стандарт України).

2. Мельник А. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку / А. О. Мельник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. – 2014. – № 806. – С. 154-161.

3. Бубела Т.З. Програмне забезпечення етапу збору інформації для кібер-фізичної системи контролю органічного виробництва / Т.З. Бубела, Т.І. Федішин // Technical Using of Measurement – 2017: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених у царині метрології, 24-29 січня 2017 р., – Славське, 2017. – С. 26-28.

## ОБЕРНЕНІ ЗАДАЧІ ЯК ЗАСІБ АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ

© Владислав Хайдуров, 2022

Інститут загальної енергетики НАН України (Київ, Україна), старший науковий співробітник відділу  
моніторингу і діагностики об'єктів енергетики, к.т.н., старший дослідник, allif0111@gmail.com

У ході дослідження різних теплоенергетичних об'єктів, явищ і процесів найбільш ефективними є експериментальні методи досліджень, зокрема у тому випадку, коли дослідника цікавлять кількісні характеристики як результат досліджень [1; 2]. У багатьох же ж випадках такі характеристики можуть бути недоступними для безпосереднього спостереження, або проведення реального експерименту взагалі не є можливим через небезпечність або дорожнечу проведення цього експерименту. Це може статись, наприклад, при вивченні здоров'я людини або при дослідженні екологічних явищ тощо. У таких завданнях за певною непрямую інформацією про досліджуваний об'єкт, процес або явище треба зробити висновок про усі його властивості. Тому для діагностики об'єктів та систем теплоенергетики потрібні математична обробка даних спостережень та інтерпретація результатів цих даних. При такому підході необхідно визначити причини, якщо відомі отримані в результаті спостереження наслідки, наприклад, визначити місце і потужність землетрусу за виміряними на поверхні землі коливаннями. Тобто у ході обробки даних реальних експериментів за додатковими непрямыми вимірюваннями робляться висновки про внутрішні зв'язки досліджуваного явища, об'єкта або процесу. В умовах, коли структура математичної моделі досліджуваного процесу відома, можна ставити завдання ідентифікації параметрів математичної моделі, наприклад, визначення коефіцієнтів диференціальних рівнянь, правої частини, межі розрахункової області, граничних початкових, внутрішніх умов тощо. Такі завдання відносяться до класу обернених задач і нині у всьому світі відіграють велику роль в різних галузях науки і техніки. Знаходження чисельних розв'язків обернених задач, зокрема, обернених задач теплопровідності (ОЗТ) вимагає значних обчислювальних ресурсів [2; 3]. Методи розв'язування даних задач добре відомі, але усі вони вимагають великої кількості обчислень і процесорного часу пошуку чисельних розв'язків. Роботи, які присвячені оптимізації та модифікаціям методів розв'язування ОЗТ мають загалом розрізнений характер. Одна з найважливіших постановок ОЗТ зводиться до задачі квадратичного програмування з обмеженнями у вигляді диференціальних рівнянь математичної фізики. Процедура розв'язування такого роду задач можна розбити на кілька найважливіших етапів, які полягають у проведенні комплексної оптимізації методики отримання чисельного розв'язку задачі; надати рекомендації з методики розв'язування ОЗТ; підтвердити ці рекомендації розрахунками відомих тестових прикладів. Методи розв'язування ОЗТ дають можливість досліджувати складні, нелінійні процеси теплообміну, володіють високою інформативністю, дозволяють проводити експериментальні дослідження в умовах безпосередньої експлуатації технічних систем та дають можливість більш обґрунтовано обирати проектно-конструкторські та технологічні рішення. Ще однією перевагою обернених задач є визначення залишкового ресурсу об'єктів та систем, а також визначення шляхів покращення й модернізації роботи теплоенергетичних об'єктів і систем загалом.

1. Круковский П.Г. *Обратные задачи теплопереноса (общий инженерный подход)*. Киев : Институт технической теплофизики НАН Украины, 1998. 224 с.

2. Мацевитый Ю.М. *Обратные задачи теплопроводности в двух томах: том 1. Методология*. Київ : Наукова думка, 2002. 408 с.

3. Мацевитый Ю.М. *Обратные задачи теплопроводности в двух томах: том 2. Приложения*. Київ : Наукова думка, 2003. 392 с.

## APPLICATION OF INFORMATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGIES FOR PERFORMING THE TASKS OF ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF COMPLEX SYSTEMS

© Yuriy Shabatura<sup>1</sup>, Oleksandr Popovchenko<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy (Lviv, Ukraine), Chief of the Department of Electromechanics and Electronics, PhD, professor, shabaturayuriy@gmail.com

<sup>2</sup> Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy (Lviv, Ukraine), full-time adjunct of the scientific and organizational department, popow4enko@gmail.com

Assessment of the technical condition of complex systems is a process that requires, in aggregate, a thorough analysis of a large number of various parameters and factors. Therefore, even the smallest omissions or inaccuracies can significantly affect the final result of the diagnosis. And in the case, for example, of complex military-technical systems, making a wrong decision regarding their technical condition and, accordingly, readiness to perform combat tasks is unacceptable. It is worth noting that quick decision-making regarding the assessment of the technical condition of a complex system by the operator, especially in combat conditions, may be accompanied by errors, including ones occurring as a result of subjective factors [1].

Modern means of diagnosing the technical condition of complex systems are able to fully cover all controlled parameters, conduct a qualitative analysis of even minor changes and forecast the situation for the future, easily identify the smallest deviations even at the initial stages of the occurrence of violations in the operation of such systems [2]. The rapid development of information and measurement technologies made it possible to significantly improve the capabilities of their constituent parts and the entire complex as a whole, namely:

- a set of highly sensitive sensors allows to control the measured parameters with maximum accuracy and to record the smallest deviations from the normal or initial state;
- a set of micro-interface devices provides instant reception, processing, transformation and transmission of data formed on the basis of received signals;
- powerful computer systems easily perform the most complex mathematical calculations, capable of handling colossal volumes of information;
- progressive methods and tools of artificial intelligence are able to learn and make decisions independently, based on previous analysis results, and analyze the consequences of various types of inconsistencies.
- small memory cards can store enormous amounts of various data.

Due to this, all the most complex operations are usually performed in an automated mode, which accordingly reduces the influence of the human factor on the final result. Final data are generated in a user-friendly form. Depending on the characteristics of the systems under study, the measurement can be carried out continuously, if necessary or under the condition of a certain deviation. Such means of control are compact in size and have a user-friendly interface that is easy to use and maintain, which greatly simplifies work and saves time, which in combat conditions can save human lives.

*1. Shabatura Yu.V., Popovchenko O.M. Application of artificial intelligence methods in solving problems of assessing the technical condition of complex systems. Computer games and multimedia as an innovative approach to communication: materials of the II All-Ukrainian scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students. Odesa, September 29-30, 2022 – Odesa, ONTU Publishing House, 2022 – 152 p.*

*2. Zashchepkina N.M., Shulga O.V., Nakonechny O.A. Metrological support of information and measurement systems: teaching. manual for students special 152 "Metrology and information-measuring technology" / – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021. – 176 p. fig.*

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ МЕДИЧНИХ ПОМИЛОК

© Олесь Чабан<sup>1</sup>, Оксана Бойко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, (Львів, Україна),  
доцент кафедри медичної інформатики, к.т.н., доцент, olesiachaban@ukr.net

<sup>2</sup> Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, (Львів,  
Україна), зав.кафедри медичної інформатики, д.т.н., професор, oxana\_bojko@ukr.net

Медичні помилки є третьою за частотою причиною смертей у світі, і більшість з них можуть бути успішно випередженими [1]. В Україні, ситуація, як мінімум, не краща. Медичні помилки успішно можна мінімізувати впровадженням у клініки інформаційних технологій. До прикладу, електронні медичні карти допомагають підвищити прозорість доступу до інформації, що підвищує як якість, так і безпеку медичних послуг. До того ж ретельний аналіз ЕМК допомагає виявляти критичні точки і вирішувати проблеми, з якими стикаються різні групи пацієнтів. Цифрові системи сприяють впровадженню стандартизації, що дозволяє спростити процеси і зменшити відмінності в якості надання медичних послуг у різних клініках. Окрім того, застосування інноваційних технологій в медицині на базі штучного інтелекту показало, що підказки цифрових помічників, вбудованих у медичні інформаційні системи, у разі знижують кількість помилкових рішень, допомагають ставити правильні діагнози, вибирати оптимальні методики лікування, виписувати рецепти препаратів, які сприятливо поєднуються один з одним.

У США, наприклад, у 28% випадках ставиться помилковий діагноз. З цього числа 33% – помилки лікарів, що стають причиною серйозних безповоротних ушкоджень або негайної чи неминучої смерті пацієнта. Лікарі в країнах Європи в 10% випадків ставлять неправильні діагнози і застосовують неефективні методики лікування [2].

В Україні поняття «лікарська помилка» законодавчо чітко не врегульоване. Проте можна невести ряд визначень, що підпадає під цю категорію:

- ✓ лікарська помилка – це похибка в професійній діяльності лікаря за умови, що він не допустив свідомої халатності чи недбальства (слід відрізняти від професійного злочину медичного працівника та нещасного випадку);
- ✓ лікарська помилка – дефект у роботі, який виник попри сумлінне виконання лікарем своїх обов'язків;
- ✓ нещасний випадок у медицині – виникнення наслідків, які неможливо було передбачити чи попередити;
- ✓ професійні правопорушення – недбальство, халатність чи свідомі дії, спрямовані на завдання шкоди здоров'ю пацієнта.

Лікарські помилки поділяють відповідно до етапів лікувально-діагностичного процесу:

- ✓ діагностичні
- ✓ лікувально-тактичні
- ✓ технічні
- ✓ деонтологічні
- ✓ організаційні

В кінці 20 століття в теорії і практиці управління виник новий напрям – управління ризиками. Ризики є невід'ємною частиною діяльності будь-якої організації, тому ефективне управління ризиками повинне сформувати адекватну систему виявлення, ідентифікації, оцінювання та нейтралізації відповідних ризиків [3]. На сьогодні не існує єдиного, стандартизованого визначення поняття "ризик" стосовно медичної діяльності. Як наслідок, управління ризиками ускладнене. Тому, перш ніж розглядати особливості процедур управ-

ління ризиками, необхідно точно визначити, що ми розуміємо під "ризиком" у медичній організації. Відповідно до сучасного підходу, ризиком в роботі медичної організації можна рахувати ймовірність настання негативних наслідків у результаті здійснення медичної діяльності.

Стосовно медицини можна виділити два види ризику: систематичний і несистематичний. Систематичні ризики відносяться до зовнішніх чинників і знаходяться поза загальним контролем медичної організації, наприклад, стан фінансування охорони здоров'я в країні. Ці чинники необхідно враховувати і брати до уваги, оскільки медична організація не в змозі вплинути на їх зміну. Несистематичні ризики стосуються безпосередньо медичної організації. Ці ризики можуть бути пов'язані з процесом надання медичної послуги: діагностичні, лікувальні, реабілітаційні; чи пов'язані з допоміжними процесами: харчування пацієнтів у стаціонарі, прибирання установи і т.п. Ці ризики можна контролювати або впливати на них у середині організації [4].

Основні етапи класичного процесу управління ризиками: аналіз ризику (його ідентифікація і оцінка); вибір методів впливу на ризик і ухвалення рішення; дія на ризик, його зниження, збереження, передача; контроль і коригування результатів.

У рамках управління ризиками слід розрізняти наступні варіанти реагування на ризики:

- ✓ уникнення ризику;
- ✓ усунення джерела ризику;
- ✓ зміна вірогідності або наслідків;
- ✓ розділення ризику;
- ✓ стримування ризику.

Для його реалізації можна сформулювати наступні завдання:

- ✓ виявити ризики;
- ✓ провести аналіз їх наслідків;
- ✓ вибрати методи управління ризиками.

Ідентифікація ризиків може здійснюватися шляхом обговорення можливих проблем у діяльності медичного закладу на засіданнях чи нарадах. При цьому слід враховувати результати робочих процесів у клініці, задоволеність пацієнтів медичними послугами у т.ч. скарги, досвід виконання аналогічної діяльності при наданні медичних послуг у інших медичних закладах, оцінку оформлення медичної карти пацієнта, оскільки вона є основним юридичним і фінансовим документом, який відбиває стан пацієнта, служить достовірним свідоцтвом проведеного лікувально-діагностичного процесу, відбиває динаміку і результат захворювання, а також взаємодію лікаря з іншим фахівцем і пацієнтом.

Ефективне управління ризиками дозволить підвищити безпечність та ефективність медичної допомоги, а також знизити її вартість.

1. *Waeschle RM, Bauer M, Schmidt CE. Errors in medicine. Causes, impact and improvement measures to improve patient safety]. Anaesthesist. 2015 Sep;64(9):689-704. doi: 10.1007/s00101-015-0052-4.PMID: 26307629*

2. *Yusof M, Sahroni MN. Investigating health information systems-induced errors.Int J Health Care Qual Assur. 2018 Oct 8;31(8):1014-1029. doi: 10.1108/IJHCQA-07-2017-0125.PMID: 30415623*

3. *ДСТУ ISO 31000:2018 Управління ризиками. Принципи та керівні принципи. (ISO 31000:2018, IDT)*

4. *Методичні рекомендації щодо організації клінічного управління ризиками та безпеки медичної допомоги в установах безпеки. Міністерство охорони здоров'я України, Український центр наукової медичної інформації та ліцензування патентів, Київ, 2012.*

## ЗАПОБІГАННЯ ХАРЧОВОГО ТЕРОРИЗМУ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

© Чорна О.Р.<sup>1</sup>, Байцар Р.І.<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна), аспірантка кафедри «Інформаційно-вимірювальна техніка» olha.r.chorna@lpnu.ua

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна), професор кафедри «Інформаційно-вимірювальна техніка» baitsar@ukr.net

Одним із важливих питань у сфері забезпечення безпеки продукції на підприємствах харчової промисловості є запобігання біотероризму. Виникнення біотероризму пов'язується із стрімким розвитком генної інженерії та появою новітніх біотехнологій у світі, що сприяє швидкому та легкодоступним методом нейтралізації ворога. У зв'язку з повномасштабним вторгненням російської федерації на території України, окупації та проведення незаконних референдумів, застосування усіх видів та типів тероризму, оператори ринку, котрі за місцерозташуванням дотичні до окупованих територій повинні посилено звернути увагу на харчовий тероризм та здійснити оцінку біоризику в залежності від сфери виготовлення продукції.

Біотероризм – широке поняття, що передбачає мікробіологічну зброю у розрізі воєнних дій [1]. Більш вузький термін – харчовий біотероризм, що полягає у захисті продуктів харчування в процесі виробництва, транспортування, збереження і продажу.

Біозброєю можна називати такі агенти: Бактерії (хвороби) – *Bacillus anthracis* (сибірка), *Yersinia pestis* (чума), *Francisella tularensis* (туляремія), *Vibrio cholerae* (холера), *Burkholderia mallei* (сап), *Burkholderia pseudomallei* (мелійдоз). Віруси (хвороби) – Ебола (геморагічна гарячка), Конго – кримської геморагічної хвороби, вірус ящуру, грипу А-підтипу Н5 або Н7, Ласса (геморагічна гарячка), Марбург (геморагічна гарячка), кліщового енцефаліту, натуральна віспа (віспа), вірус венесуельського кінського енцефаліту, Вірус жовтої хвороби (геморагічна гарячка). Рикетсії – *Coxiella burnetii* (Q-лихоманка) *Rickettsia prowazekii* (сипний тиф). Токсини-Ботулічний нейротоксин Рицин, Ентеротоксин В стафілококу Сакситоксин [2].

У світовій історії зафіксовані такі випадки: у 1984 році у Сполучених Штатах Америки, місті Орегон, релігійною групою «Раджнішіс» було здійснено розповсюдження збудника сальмонельозу через їжу з метою впливу на результати місцевих виборів [2].

Під час Першої світової війни тварини мали важливе тактичне та продовольче значення. Під час німецьких диверсійних операцій застосовувалися такі біологічні агенти, як бактерії *Bacillus anthracis* (збудник сибірки) і *Pseudomonas mallei* (збудник сапу) для ураження худоби [2].

У порівнянні з європейським законодавством, в законодавчій сфері нашої держави не розроблено і не встановлено загальні принципи біозахисту. Проте, у зв'язку з поширенням тенденцій впровадження і сертифікацій міжнародних систем харчової безпеки на потужностях таких як: IFS, BRS, FSSC, ISO 22000, TACCP, VACCP, сучасний оператор ринку повинен діяти на випередження вживати відповідні заходи та сприяти забезпеченню готового продукту, котрий не чинить загрози здоров'ю споживачу та учасникам процесу виготовлення.

1. Guideline Product Fraud Mitigation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://ifs-productintegrity.com/wp-content/uploads/2020/09/IFS\\_Guideline\\_Product\\_Fraud\\_Mitigation\\_V2\\_EN.pdf](https://ifs-productintegrity.com/wp-content/uploads/2020/09/IFS_Guideline_Product_Fraud_Mitigation_V2_EN.pdf).

2. Саймон Уйтсбі Татьяна Новосолова Джеральд Вальтер Малкольм Дандо. Глава 3: Досягнення в галузі науки і технологій та розвиток можливостей біологічної зброї/Запобігання біологічним загрозам: що Ви можете зробити – Західний Йоркшир, Сполучене Королівство.. –С. 46–48.



**INFORMATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGIES IN THE COMPLEX  
SOLUTION OF THE PROBLEMS OF DIAGNOSTIC AND ENERGY  
SAMPLES OPTIMIZATION OF MILITARY EQUIPMENT**

© Yuriy Shabaturova, 2022

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy (Lviv, Ukraine),  
head of the department of electromechanics and electronics, PHD, professor, shabaturayuriy@gmail.com

The main factor of today, which affects all processes and activities of the citizens of our country, is war. There are many definitions for interstate armed conflicts, however, if we put aside emotions and political aspects, the war of the Russian Federation against Ukraine is gradually turning into a war of technologies. And whoever has them more perfect will get the advantage. Of course, one should not reject the importance of such factors as military art, courage and heroism of soldiers, etc., however, it should be objectively stated that the level of equipment and technologies used in armed conflicts is becoming decisive today.

Military equipment and military technologies. Today they are extremely diverse, they are based on the latest achievements of science and technology in almost all fields, therefore the tasks that are relevant for them and require solutions are even more diverse. At the same time, despite all the diversity of technologies and models of weapons and military equipment, several tasks can be identified that remain common to all of them. These are the tasks of ensuring maximum accuracy, minimum time consumption, maximum reliability and energy efficiency.

As practice and our many years of experience have shown, information and measurement technologies today play a key role in the complex solution of these problems.

Within the permissible limits, in my report I will first focus on the task of ensuring the reliability of samples of military equipment. Modern models of weapons of military equipment are very complex systems that combine many subsystems, nodes and aggregates, however, from the point of view of functional purpose, the main thing remains the weapon itself, and all other components play an auxiliary role and only ensure the maximum effectiveness of the use of weapons. An analysis of modern weapons shows that, with very few exceptions, they belong to firearms. That is, gunpowder, invented many centuries ago, remains today the main "working substance" that activates modern weapons. The functioning of firearms according to the principle of action is an impulse, short-term process of single or serial action in the form of an impulse sequence, which are initiated by the rapid burning of powder charges. Moreover, firing processes always cause large impact mechanical loads on all devices, assemblies and weapons units. To a certain extent, these phenomena resemble classical transient processes that are studied during the synthesis and analysis of automation systems. But, as is known from the theory of automatic control, it is the transient characteristics, such as the system's response to input unit influences, that allow us to fully assess the dynamic properties of such a system. In our case, in fact, the mode of the transition process is the operating mode of the weapon systems. This circumstance led to the idea of using the signals generated by these processes to assess the technical condition of weapons. On the basis of this idea, a method of operational diagnostics of the technical condition of the main units of artillery weapons was developed, which is based on the perception of vibroacoustic signals created during shots, followed by their primary processing and digitization and further analysis using artificial intelligence tools when interacting with a database in which the characteristic spectra of such signals obtained during the firing of corresponding samples of weapons with different types of ammunition and powder charges are presented.

It is important to note that in the practical implementation of the method discussed above, the traditional requirements for ensuring minimal errors when solving metrological problems of a similar class recede into the background in relation to the intellectual analysis of received signals by means of artificial intelligence.

In fact, this means obtaining a better solution to a metrological problem not by improving the quality of measurements in the classical sense of the measurement process itself, but by intellectually analyzing the poorer quality of measurement results.

The task of achieving maximum energy efficiency existed and will always exist for any technical systems and technological processes. In addition, it is quite obvious that its solution cannot be final, it has a gradual nature and will "infinitely" approach the "ideal" solution, but will never reach it, since the latter does not already exist due to fundamental physical limitations, which do not allow reaching 100% for the efficiency. To a certain extent, there is an analogy here with the definitions of the absolute value of the measured physical quantity and the absolute error of the measurement result.

Energy efficiency is especially important for self-propelled weapons of military equipment. However, in this case it has two independent components. The energy efficiency of the weapon itself and the energy efficiency of the power plant, which ensures the movement of a sample of military equipment. Modern weapons, by a very small proportion, are firearms, and therefore, in their essence, are specialized thermal machines of pulsed single or pulsed-sequential action, and with a rather low efficiency. It is practically impossible to radically increase the energy efficiency of such a weapon without changing the principle of its action, but it is quite possible to improve it by converting part of the dissipated energy into useful energy that can be stored. This approach has received its scientific basis and has specific technical solutions for small arms and artillery weapons, which are protected by patents of Ukraine. In these solutions, measuring technologies are also used, which ensure the maintenance of the mode of maximum efficiency of conversion processes.

The task of increasing the energy efficiency of the main power plants of military equipment samples turned out to be much more difficult, since they are almost without exception represented by diesel engines. These engines are quite complex systems, which at this stage we cannot constructively change, so only one factor was used as an optimization to increase the overall energy efficiency, namely the lubrication process of the most important components of the engine. According to the standard structural layout, lubrication of the specified engine units is carried out using an oil pump, which is directly mechanically connected to the engine crankshaft, and therefore its performance depends solely on the number of revolutions of the crankshaft and does not take into account the amount of engine load, temperature, or lubricant quality, etc. Neglecting the specified parameters leads not only to a decrease in the engine resource, but also to a significant excess of fuel consumption, which actually worsens the energy efficiency of this power plant.

The solution to the specified problem was almost completely achieved due to the direct application of information and measurement technologies, which were implemented in a specialized information and measurement system that ensured the measurement of the current values of all previously neglected parameters, the calculation with the help of synthesized and experimentally verified mathematical models of the optimal values of oil pressure in to the main oil line, adjusting the regulator and corresponding control of the electric oil pump in such a way that automatically, depending on the current situation, the optimum pressure is maintained in the oil line.

Experimental verification of the practically implemented system confirmed its functionality and ensured the predicted efficiency.

Thus, in conclusion, it is possible to conclude that only information and measurement technologies deeply integrated with microcontroller-computer systems today make it possible to comprehensively solve the actual problems of development and improvement of military-technical systems.

## SELECTION OF PROTOCOLS FOR REAL-TIME DATA STREAMING FROM IOT DEVICES TO THE CLOUD

©Anton Shykhmat<sup>1</sup>, Zenoviy Veres<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine),  
PhD student the Department of Computerized Automatic Systems, anton.o.shykhmat@lpnu.ua  
<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), assistant of the Department  
of Computerized Automatic Systems, Ph.D., assistant, zenovii.y.veres@lpnu.ua

**OBJECTIVE:** An outdated technical and technological base is one of the significant problems in Ukraine. Frequent malfunctions require larger capital investments and more time to solve them, which reduces volumes and increases the cost of growing crops, leading to increased final prices for the consumer. According to a Global Network Against Food Crises study, rising prices are leading to starvation in many regions of the world. The most crucial aspect of agriculture vehicles is timely repair and maintenance. Agriculture vehicles are manufactured in such a way that they can withstand thousands of hours of service. However, these indicators can be achieved only under the condition of periodic maintenance of the tractor. Timely detection and prevention of malfunctions are key approaches to reducing maintenance costs, and updating and replacing equipment, reducing the cost of growing crops. The Internet of Things (IoT) technology can be used to solve this problem. It is possible to create an IoT device that will connect to the CAN bus of the tractor to intercept all signals, process them, track the geographic position of the tractor at the current moment in time and tie the signals to this position. Finally, this data needs to be transmitted to some server-side with geospatial and telemetry data for further analysis. The purpose of this study is to provide an overview of existing data protocols and selects the best-fit protocol for the real-time data transmission use case.

**METHODS:** Qualitative analysis using Architecture Tradeoff Analysis Method [7] was used to select data protocol from the following list: SOAP, HTTP, REST, CoAP, WebSocket, XMPP, MQTT, AMQP. Each protocol's sensitivity points, tradeoff points, risks and applicability to the use case quality attribute scenarios were analyzed.

**RESULTS:** SOAP is verbose and complex from a coding perspective, with a slow parsing speed and does not have built-in functionality to failed requests processing re-try, but it is versatile and has built-in error handling that can make resolving issues easier [2,3].

The advantages of using REST are its simplicity, security, and scalability. However, the disadvantages include the impossibility of sending one message to many recipients with one request, the increased need for server resources, and the increased time for sending and processing the request, as is built on top of the Transmission Control Protocol (TCP), comparing to application protocols built on top of the User Datagram Protocol (UDP) transport layer protocol, and the lack of automatic resending of a message in the event of a message processing error on the server, which reduces reliability [4].

CoAP protocol has advantages in its reduced need for client resources, security using DTLS, synchronous and asynchronous communication support, and fast message transfer. Disadvantages include lower reliability of data transmission (compared to application protocols built on the TCP transport layer protocol), the inability to send one message to many recipients (for this, you need to send a separate message to each recipient), problems with communication with NAT devices [5].

The advantages of the WebSocket protocol are the fast message exchange since it is not necessary to open a connection between the client and the server every time, the reduced volume of traffic, and security using TLS. The main disadvantages of WebSocket include the requirement for a stable TCP connection and the lack of automatic connection restoration in case the connection is

lost, which reduces the reliability of this protocol, increased requirements for node resources, and problems with scaling and load distribution [1].

The main advantages of the XMPP protocol are its simple addressing, scalability, and security. Still, it has its disadvantages, in the form of slower transmission and data processing due to increased traffic volume, because of XML format, the TCP transport protocol usage, and the reliability is reduced because there is no confirmation of message processing [1].

MQTT has advantages in its scalability, architecture that provides loose coupling between clients, reliability because it guarantees different types of message delivery, and security using SSL/TLS. Disadvantages include slower sending of messages (compared to application protocols built on top of the UDP transport layer protocol) [1].

Like MQTT, the AMQP protocol has advantages in scalability, security, and loosely coupled clients. Disadvantages include increased message size and time to send and process the message [6].

**CONCLUSIONS:** The MQTT protocol is the best solution for real-time data streaming from constrained environments. This protocol depends on reliable connection and could be inefficient in situations with a weak or absent Internet connection. HTTP protocol could be used in such use cases for telemetry data transmission to the cloud for further analysis.

A number of areas of research that have to be conducted to build an information system to monitor and predict agriculture vehicles faults have been identified, among which the following should be highlighted:

- Receiving signals from the CAN bus by the IoT device;
- Tracking of the agriculture vehicle geographical position by the IoT device;
- Transformation of signals and geographical position into geospatial and telemetry data by an IoT device;
- Processing of data that was not sent on time due to IoT device network connectivity issues
- Storage of the received geospatial and telemetry data using cloud solutions;
- Analysis of stored data and detection of malfunctions that have been already occurred using cloud services;
- Creating a model to predict potential failures and to notify farmers about them.

1. S. Misra, A. Mukherjee, A. Roy. "Introduction to IoT". Cambridge: Cambridge University Press, 2021, pp. 184 – 200
2. B.Suda. "SOAP web services". Edinburgh: University of Edinburgh. 2003, pp. 2 – 4
3. D.Hanes, G. Salgueiro, P. Grossetete, R. Barton, J. Henry. "IoT fundamentals: networking technologies, protocols, and use cases for the Internet of Things". Indianapolis, Indiana: Cisco Press, 2017, pp. 177 – 204
4. N.M.Shaikh, Y.Ingle. "Application of Restful APIs in IOT": A Review. Haryana: iJRASET, 2021
5. A.Alhaj. "Constraint application protocol (CoAP) for the IoT". Frankfurt: Frankfurt University of Applied Sciences, 2018
6. S.Vinoski. "Advanced message queuing protocol". Cyprus: University of Cyprus, 2006
7. L. Bass, P. Clements, R. Kazman. Software Architecture in Practice, 4th Edition. – Boston, Massachusetts: Addison-Wesley Professional, 2021

## RIPPED HEAT FROM DEEP WELLS IN EGS-ISW PROJECT

© Yuriy Starodub<sup>1</sup>, Vasyl Karpenko<sup>2</sup>, Andrii Havrys<sup>3</sup>, Danyil Behen<sup>4</sup>, 2022

<sup>1</sup> Lviv State University of Life Safety (Lviv, Ukraine), Chief researcher of the Department for research and development, Doctor of Technical Sciences, Professor, george\_starodub@yahoo.com

<sup>2</sup> Chief specialist of the Department of Implementation of Energy Efficient Projects of the Cabinet of Ministers of Ukraine (Kyiv, Ukraine), PhD, intexnaftogaz@ukr.net

<sup>3</sup> Lviv State University of Life Safety (Lviv, Ukraine), Senior Lecturer of Civil Protection and Computer Modeling of Ecogeophysical Processes Department, PhD, Associate Professor, havrys.and@gmail.com

<sup>4</sup> Lviv State University of Life Safety (Lviv, Ukraine), Researcher of the Department for research and development, d.behen@ldubgd.edu.ua

**GEOHERMAL ENERGY PROJECT:** Electric geothermal station based on isolated from formation fluids single well (hereinafter ■ EGS-ISW), which produces 8 MW of primary heat energy into electricity, converts into electric energy more than 5 MW energy, which generates hydrogen with a capacity of more than 10 kg / h at a price of less than \$0.67 / kg is proposed. It is noted the following: 1) Geothermal energy is the planet's own energy, which depends on its mass and has a stable heat flow into open space on the surface. Thus, for the Earth at a depth of 50 m for a constant temperature of 10 °C according to the Stefan-Boltzmann Law, it is equal to 365 W/m<sup>2</sup>.

Heat flux densities with depths increase with increasing total geostatic pressure and gravitational energy in a unit volume of the geological environment, which form a normal vertical temperature gradient at 0.03 °C / m. The peculiarity of the geological environment is that each of its elementary objects is both a source and transmitter of thermal energy that travels from the center of the Earth to its surface. In addition to geostatic pressure and gravitational energy, forming a normal temperature gradient, the factors of temperature formation of the elementary object of the geological environment are: close magmatic activity, horizontal pressures, physics-chemical processes, porosity, fluid saturation, interaction of the whole object with infra-red waves. The industrial value is the normal temperature gradient, which at depths greater than 3000 m for certain rocks is more than 100 °C. 2) On the territory of Ukraine, according to the geothermal Atlas developed by Institute of Geophysics named after S.I.Subbotin, National Academy of Sciences of Ukraine, at depths of more than 3000 m rocks have temperatures from 70 °C to 150 °C. Geothermal active zones, where temperatures are higher than 100 °C, occupy 61.5% of the territory of Ukraine, where 67% of the population lives and 64% of Gross Domestic Product (GDP) is produced. 3) Experience in the construction of deep wells for oil and gas shows that on the Earth's surface during drilling and rinsing wells flushing fluid for months, as long as the process of deepening from a depth of 3000 m, carries thermal energy up to 8 MW. This energy increases with increasing drilling depth. 4) Special experimental-scientific studies of the calorific value of dry rocks from the wells with a depth of 4000 m and 5300 m, lined with a column with a diameter of 245 mm, proved that geothermal energy has the power more than 9 MW at maximum productivity of flushing fluid circulation in the well and receiving tanks.[1]

The temperature of the washing liquid in the receiving tanks with a volume of 150 m<sup>3</sup> on the ground and 132 m<sup>3</sup> in the well in 24 hours reached 70 °C at an ambient temperature of 0 °C and a capacity of 52 kg/s (42 l/s), with a specific heat of 3500 J/(kg°C) and its density of 1.25 g/cm<sup>3</sup>. 5) The developed "Theory of Geothermal Energy" allowed to develop an engineering method for determining the "Geothermal resource" (GTR) in MW of a single well, which set the standard value of thermal energy generation at 10 MW for: wells with a depth of 4000 m, bottom temperature 120 °C, casing diameter 245 mm, productivity of circulation of 30 l/s. 6) A feasibility study has been developed for the geothermal industry of Ukraine based on the energy model of hydrocarbon resources development, which proves that the cost of 1 Gcal of geothermal energy is twice less than

the cost of 1 Gcal of thermal energy from natural gas combustion at the same cost with a service life of 50 years. This is more than 3 times cheaper compared to the actual service life of a gas well during 15 years and annual capital works to increase productivity. 7) Patented UA №92743 dated 26.08.2014, geological term "Geothermal resource" (GTR) with the definition of thermal energy power generated by a single deep well isolated from formation fluids. The know-how of the patent contains a technical solution for the development of GTR system ORC with an efficiency of more than 25% for the generation of hydrogen at a price less than 5.8 UAH / kg (as of 2014 at the rate of \$ to 8 equal 8.64). 8) Developed EGS-ISW technology, which will generate 8 MW of energy, or 0.5 of electric energy, or 10 kg / h of hydrogen based on drilled near the village. Nove Misto, Lviv region 5 km from the border with Poland, a well with a depth of 4702 m, which is state-owned.[2]

Innovations of the proposed technology regarding: – physics-chemical structure of the energy carrier of the deep well, which accelerates and increases the heat transfer of the energy carrier in the space of the well; – design of the heat accumulator at the bottom of the well, which sets the required time of sufficient heat transfer of energy in the space of the well; – casing and operational column designs that retain heat during transportation of heated energy to the earth's surface; – design of a steam generator that accelerates and increases the heat exchange between the energy source and the working fluid for organic Rankin cycle (ORC); – turbine design, which multiplies the performance of the conversion of thermal energy into mechanical and electrical energy ORC; – recuperator design, which increases the efficiency of the ORC; – condenser design, which has a negative pressure for the turbine and does not emit heat energy when condensing steam of the working fluid. But directs it to heat the condensed phase of the working fluid with the addition of a certain amount of heat from geothermal energy; – design of the automatic power supply system from the output of the ORC generator and control of the pumps of the energy carrier and the working fluid, which according to the optimization criterion the minimum oscillation of the system reaches the maximum efficiency of geothermal heat conversion will commercialize the proposed technology more than for 25%. 9) More than 90 countries around the world use geothermal energy. Germany has 150 projects, 23 of which are included in central heating systems.

*1 Karpenko, V., Starodub, Y., A. Havrys Computer Modeling in the Application to Geothermal Engineering. – Advances in Civil Engineering, vol. 2021, Article ID 6619991, 23 pages,*

*2 Starodub, Y., Karpenko, V., Karabyn, V., Shuryhin, V. Mathematical Modeling of the Earth Heat Processes for the Purposes of Eco-technology and Civil Safety 2020 IEEE 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2020 – Proceedings, 2020, 1, pp. 146–149, 9322009 (Scopus)*

## LABVIEW APPLICATIONS USED IN MEASUREMENT SYSTEMS

© Anna Szlachta<sup>1</sup>, 2022

<sup>1</sup>Rzeszow University of Technology (Rzeszow, Poland), associate professor  
of the Department of Metrology and Diagnostic Systems, Ph.D., annasz@prz.edu.pl

The use of the LabVIEW environment in a measurement laboratory, even remotely, makes it possible, among other things, to demonstrate how laboratory equipment works, despite the absence of students at the university. The LabVIEW environment was developed by National Instruments; the name is an acronym for Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. It allows the creation of programs for control of control and measurement equipment, data acquisition, and analysis. Several measurement applications have been developed in the Department of Metrology and Diagnostic Systems at Rzeszow University of Technology, for, among other things, determining the nonlinear distortion coefficient, the voltage and time parameters of signals, and phase shift [1-3]. Selected applications work with data acquisition modules, e.g. NI-USB 6009, some with measurement instruments. There are also several studies that simulate the operations of measuring transducers, among others [4, 5]. This article will discuss some examples of solutions used at selected technical universities in Poland, and similar solutions are used around the world [6]. The use of the LabVIEW environment in remote work can be divided into three groups of methods: presentation of program operation (without access to LabVIEW); working with applications, without access to measurement equipment (access to LabVIEW licenses); use of client-server work (remote access to equipment in the laboratory). The applications developed in the LabVIEW environment and used in the measurement laboratory were selected and discussed in the paper; the solutions presented should be considered as examples; each university individually solved the problem of remote access to the measurement laboratory. It is worth mentioning that there are other software used in measurement systems. These include MATLAB, DASyLab, or Mathcad.

1. Fixa M. : Wirtualny miernik zawartości harmoniczných. Praca dyplomowa inżynierska – promotor Szlachta A., WEiI Politechnika Rzeszowska, 2013.

2. Skomra Ł.: Przyrządy wirtualne do wizualizacji podstawowych problemów z podstaw metrologii. Praca dyplomowa inżynierska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej, promotor dr inż. Anna Szlachta, Rzeszów 2013.

3. Szlachta A.– „Przyrządy wirtualne wspomagające nauczanie podstaw metrologii” – str. 109-112 – „Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 49” – Wydawnictwo Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2016.

4. Otomański, P, Krawiecki, Z. Odon, A The application of the LabVIEW environment to evaluate the accuracy of alternating voltage measurements. Journal of Physics: Conference Series vol. 238, pp 1-6, 2010.

5. Dąbek M., Wirtualny przetwornik analogowo – cyfrowy z sukcesywną aproksymacją, Praca dyplomowa inżynierska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej, promotor dr inż. Anna Szlachta, Rzeszów 2022.

6. D. Ursutiu, C. Samoila and V. Jinga, "Creative developments in LabVIEW student training: (Creativity laboratory – LabVIEW academy)," 2017 4th Experiment@International Conference (exp.at'17), 2017, pp. 309-312, doi: 10.1109/EXPAT.2017.7984399.

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ГРАНИЦЬ ОБ'ЄКТІВ В МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

© Андрій Ярчак<sup>1</sup>, Владислав Цап<sup>2</sup>, Віктор Хавалко<sup>3</sup>, 2022

<sup>1</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), студент кафедри систем штучного інтелекту, andrii.yarchak.mknssh.2022@lpnu.ua

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), студент кафедри систем штучного інтелекту, vladyslav.tsap.mknssh.2021@lpnu.ua

<sup>3</sup>Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), доцент кафедри систем штучного інтелекту, к.т.н., viktor.m.khavalko@lpnu.ua

Обробка зображень для виявлення, спостереження і класифікації об'єктів відноситься до області комп'ютерного зору. Цифрові зображення відіграють важливу роль у медичній сфері, оскільки важливість медичних зображень зростає в медичній сфері для різних застосувань.

Враховуючи те, що медичні діагнози, заключення чи інші дії лікарів повинні бути скрупульозними, у медицині потребують максимальної точності фактів, матеріалів, деталей, зокрема, візуального контенту. Тому при обробці медичних зображень існує достатньо нюансів, які можуть ускладнювати якість кінцевого результату. Найчастіше це контурні зображення внутрішніх органів чи їх ділянок (для виявлення добро- чи злоякісних утворень) тіла людини.

Для якіснішого аналізу потрібно створити інтерактивний застосунок програмного продукту з можливістю використання різних методів та алгоритмів виявлення країв, з можливістю визначення певних параметрів відповідних методів.

Методи виявлення країв в основному поділяються на дві групи і засновані на пошуку та на перетині нуля. Методи, засновані на пошуку, виявляють краї, спочатку обчислюючи міру міцності краю, зазвичай похідний вираз першого порядку, такий як величина градієнта, а потім шукають локальну спрямованість. Максимуми величини градієнта з використанням обчисленої оцінки локальної орієнтації краю, зазвичай напряму градієнта. Методи, засновані на перетині нуля, шукають їх у похідному виразі другого порядку, обчисленому на основі зображення, щоб знайти краї – зазвичай перетини нуля Лапласа або перетини нуля нелінійного диференціального виразу.

Як етап попередньої обробки до виявлення країв майже завжди застосовується етап згладжування, як правило, згладжування Гауса. Згладжування використовується для зменшення шуму у медичних знімках.

Для обчислення наближеного значення градієнта яскравості зображення застосовується оператор. Результатом його використання для кожного пікселя зображення буде вектор градієнта яскравості в цій точці, або його норма. Згладжене зображення фільтрується за матрицею у горизонтальному та вертикальному напрямках, щоб отримати перші похідні у відповідних напрямках. Вектор градієнта завжди буде перпендикулярний до обох граней.

Далі, необхідно перевірити: знаходиться чи ні кордон у даній точці (застосовуючи поріг). Чим менший поріг, тим більше меж буде перебувати, але тим сприйнятливішим до шуму стане результат, виділяючи зайві дані зображення. І навпаки, високий поріг може проігнорувати слабкі краї або отримати краї фрагментами. Для цього існує два пороги (верхній і нижній), які є динамічними параметрами (див. рис. 8) [9]. Для них немає сталого значення, оскільки від прикладу до прикладу потрібні значення можуть радикально змінюватись.

Будь яка грань з інтенсивністю більше верхнього порогу – це шуканий край, менше нижнього – однозначно ні. Значення інтенсивності грані між порогами, класифікують пікселі в залежності від приналежності до пікселя уже вибраної.

На виході після цих всіх операцій отримуємо зображення у тих же тонах, тільки з краями з більшою інтенсивністю та з меншою інтенсивністю ту інформацію, котра не має



цінності. В залежності від методу виявлення, вихідне зображення може бути з різною інтенсивністю країв та їх чіткістю.

Основним засобом розробки даного проекту являється мова програмування Python. Архітектура програмної частини складається з 2 класів:

- Клас App – містить реалізацію інтерактивного застосунку, з усім наявним функціоналом відкриття, висвітлення зображення та інструментарію.
- Клас Detector – містить увесь функціонал відповідних методів та усіх допоміжних
- Стандартні бібліотеки, встановлені Python

Було проведено порівняння різних типів методів, але даний експеримент не може бути достатньо об'єктивним, оскільки ефективність та точність навіть алгоритмів які регулюються залежить від користувача та його здібностей. Більшість типів методів поведилися по-різному, тому що специфіка кожного відрізняється не дивлячись на схожість деяких з них, зокрема в даному випадку – це алгоритми Собеля, Робертса та Превітта. З алгоритмом Канні виникає дискомфорт через підбором правильних параметрів порогів.

Варто відмітити незважаючи на попередні результати, що використання усіх методів є доцільним для кожного типу зображення окремої ситуації, але класифікація, а точніше асоціативність відповідно до випадку повинна бути визначеною або припущеною. Найкращим варіантом також неможливо назвати один з алгоритмів, оскільки кожен може мати перевагу у певних аспектах.

1. Malbog M.A.F., Lacatan L.L., Dellosa R.M., Austria Y.D., i Cunanan C.F., Edge Detection Comparison of Hybrid Feature Extraction for Combustible Fire Segmentation: A Canny vs Sobel Performance Analysis, 2020 11th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), 2020, pp. 318-322, doi: 10.1109/ICSGRC49013.2020.9232632.

2. Nikolic M., Tuba E. and Tuba M., Edge detection in medical ultrasound images using adjusted Canny edge detection algorithm, 2016 24th Telecommunications Forum (TELFOR), 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/TELFOR.2016.7818878.

## HARDWARE AND SOFTWARE OF WATER STRIDER ROBOT

© Svyatoslav Yatsyshyn<sup>1</sup>, Xinyu Zeng<sup>2</sup>, Andriy Cherkas<sup>3</sup>, 2022

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), professor  
of the Department of Information and Measurement Technologies, [ivt@lpnu.ua](mailto:ivt@lpnu.ua)

<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), PhD student  
of the Department of Information and Measurement Technologies, [ivt@lpnu.ua](mailto:ivt@lpnu.ua)

<sup>3</sup>Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine), student  
of the Department of Information and Measurement Technologies, [andrii.cherkas.mt.2019@lpnu.ua](mailto:andrii.cherkas.mt.2019@lpnu.ua)

The sustainable development of human population in Earth's biosphere, limited in size and power, leads to changes in the ecosystem. Tracking such changes can be considered one of the key prerequisites for ensuring its survival. At the same time, the development of 3D metrology is naturally based on the study of land massifs and the control of their characteristics and does not pay attention to the methods and means of studying the aquatic environment.

Issue of new types of robots, as platforms for deployment of a number of sensors, namely multi-legged walking devices of the "spider", are recently widespread. They are studied in the course "Programming of smartphones and mobile devices" of Program "Metrology and Information-Measuring Technologies" (the 7th semester of baccalaurean level). The continuous development of university educational programs and their improvement, aimed at improving the quality of the education received, requires monitoring of the environment and, first of all, the state of water resources, for the subsequent control of their parameters and thus contributes the achievement of the responsible consumption.

To reduce the effect of water pollution, by the enhanced methods and means of monitoring the parameters of water environment, is necessary to develop supporting platforms, especially the small-sized ones. Since the water is rather aggressive environment, characterized by corrosiveness, is desirable to minimize the contact with the volume of water.

These requirements are met by a such mechanism as "water strider". The study and research of these insects has already become interested [1]. It was shown an 11-gram technical device programmed to perform movements on the water surface. With such a tool, it is enough to simply install and connect sensors for temperature, humidity, insolation, and the presence of certain chemical pollutants in the strider's body.

Let's emphasize that the water strider moves on it without submerging, thanks to the effect of the surface tension film. At the same time, it is the multitude of dust-like substances settling on this film that are concentrated there. By installing a radiation sensor on the strider, we can determine of enlargement in several orders of magnitude the radiation power (during the Chernobyl accident, the scattering of contamination led to a 1,000-10,000-fold increase in the content of radioactive particles on the water surface, and then on the coastal sand).

The scientific and applied values of the project are described above, while the educational value is inseparable from them. Namely, the study of the of algorithms of movement and based on its software, which is carried out currently at the level of spiders, within the Program of the considered course is being changed in the direction of the formation of robots for studying the boundary of the water – air, namely the robot-strider. That is, the discipline itself, through the efforts of teachers and students, is permanently changing in the direction of the ecological investigation of human interaction with the environment thanks to the further development of Metrology 4.0.

We have studied the possibility of design of the water strider, which is planned to be light to lay on the water surface. Our previous studies have resulted in the next assessment. Its weight should not exceed 11 g if available 10-12 legs as the floats.

Possible design was studied on examples of the constructions of Carnegie Mellon University [2], Harvard University, Minzu University of China, Zhejiang University, Shanghai Jiao Tong University, Kogakuin University, and Harbin Institute of Technology, China that were made from 2003 till nowadays. Most of them were of sliding type except Harvard construction which was jumping due to SMA application of the legs. Minzu construction with DC motor seems to be optimal while deploying the smart sensors in it.

Currently we consider the possible design of water strider robot of slider type based on the existing electronic components. So, we use Espressif Systems company's MCU Esp32. It supports communication protocols in close proximity: IIC, SPI, UART, CAN bus. It also supports to carry Wi-Fi, LoRa and Bluetooth. Compared to the high-power consumption transmission of Wi-Fi and Bluetooth; LoRa is a new transmission method with low bandwidth, low power consumption and long distance. The ESP32 is an integrated 2.4 GHz Wi-Fi and Bluetooth dual-mode single-chip solution using TSMC's low-power 40nm process, offering superior RF performance, stability, versatility and reliability, as well as ultra-low power consumption to meet different power requirements for a wide range of applications. The ESP32 is the industry's leading integrated Wi-Fi + Bluetooth solution with only 20 external components and integrated antenna switches, RF, power amplifiers, low noise amplifiers, filters, power management modules and advanced self-calibration circuitry, significantly reducing the printed circuit board footprint. The ESP32 also incorporates advanced self-calibration circuitry that enables dynamic auto-tuning to eliminate external circuitry defects and better adapt to changes in the external environment.

The core circuitry of the ESP32 series requires only about 20 resistors, capacitors, inductors, a passive crystal and an SPI flash. The ESP32 series core circuit diagram is designed with 10 parts: power supply, power-on timing and reset, Flash (mandatory) and SRAM (optional), clock source, Radio Frequency (RF), external resistive capacitor, ADC, UART, SDIO, touch sensor. Motor drive part: In general, the output voltage of the ESP32's GPIO pins is insufficient to drive the motor and complete the task of the water strider robot walking on water. To finish this operation, we must connect a motor-driven module to the MCU so that the motor can function normally.

ULN2003 Motor Driver includes the composite transistor array is a high-voltage, high-current array of seven silicon NPN composite transistors. It is a high current driving array that is commonly used in control circuits like microcontrollers, smart meters, PLCs, digital output cards, and so on. It is capable of directly driving loads such as relays. The input is 5V TTL, and the output is 500mA/50V. Simply put, the ULN2003 is used to boost current and increase driving capability. For example, the output pins of a microcontroller typically output only a few mA, which is insufficient to drive a motor, relay, or solenoid valve. To turn a DC motor, for example, 500 mA is required, and after amplification with ULN2003, you can control these devices directly through the output pins of a microcontroller.

Regardless of the type of construction, first of all, we would consider the scheme of movement, the mass reserve in relation to the ability to be on the surface of the water, carry out modeling, and then proceed to the selection of construction materials, including water-repellent materials [1, 3], etc.

1. Jing-Ze Ma, Hong-Yu Lu, Xiao-Song Li, and Yu Tian, Interfacial Phenomena of Water Striders on Water Surfaces: a Review from Biology to Biomechanics, *Zool Res.* 2020 May 18; 41(3): 231–246. DOI: 10.24272/j.issn.2095-8137.2020.029
2. Steve H. Suhr, Yun Seong Song, Sang Jun Lee, and Metin Sitti. Biologically Inspired Miniature Water Strider Robot <http://www.roboticsproceedings.org/rss01/p42.pdf>.
3. Jihong Yan, Kai Yang, Gangfeng Liu, Jie Zhao, Flexible Driving Mechanism Inspired Water Strider Robot Walking on Water Surface, Date of current version May 03, 2020. DOI: 10.1109/Access.2017

## SELECTED BASIC PROBLEMS OF METROLOGY AND MEASUREMENT TECHNIQUE FROM OWN AND JOINT WORKS

© Zygmunt Lech Warszawa, 2022

<sup>1</sup>Łukasiewicz Research net – Industrial Research Institute for Automation and Measurements,  
PIAP-Ł Warszawa Poland (associate professor on pension) main specialist  
in the Team of Interdisciplinary Studies. zlw1936@gmail.com

### Contents

#### **Part 1. The outline of the author's professional and scientific activity**

1. Author C.V. Work: research and teaching at 3 Polytechnics, research work at 4 institutes + 2,5 years at the Ministry of National Education
2. Construction of instruments for industrial measurements and environmental control (specificity on the example of pH meters). Publications 1.
3. Metrology of magnetic quantities, research and application of Hall effect sensors in the construction of measuring instruments. Publications 2, including a doctoral dissertation and three still up-to-date chapters of the book "Hall Effect Technology" WNT 1980 (in Polish)

#### **Part 2. Development of the theoretical foundations of metrology and of the construction and description of the properties of measuring instruments (Measurement Science)**

4. Monograph 1. Immittance four-pole systems (4T) in multi-parameter measurements
5. Monograph 2. Methods of extending the analysis of measurement uncertainty
6. Method of assessing the uncertainty of multi-parameter indirect measurements and functions determined by linear regression.
7. Presentation of the publication: Method of estimation uncertainties of multivariable indirect measurement and of functions estimated by linear regression as estimation of GUM-S2, published as chapter in the monograph:

#### **Advanced mathematical and computational tools in metrology and testing AMCTM XII.**

Pavese F., Forbes A.B. et all (Eds.): Series on Advances in Mathematics for Applied Sciences. vol 90 © 2022 World Scientific Publishing Company N. Jersey · London · Singapore ... pp. 451- 463.

8. Some conclusions from the research on theoretical foundations of metrology and measurement technique

*(The presentation has a total of about 40 slides and needed are 35 min + 5 for discussion)*

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГАРТОВАНОГО СКЛА

© Василь Яцук<sup>1</sup>, Назар Куриляк<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор, vasyi.o.yatsuk@lpnu.ua

<sup>2</sup> Національний університет „Львівська політехніка” (Львів, Україна), аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, аспірант, nazar.i.kuryliak@lpnu.ua

Деякі сучасні будівельні матеріали, такі як загартоване скло, потребують високої точності виготовлення і монтажу їх на об'єкті будівництва. На сьогоднішній день в Україні стосовно вимог до загартованого скла чинними є чотири стандарти, зокрема: ДСТУ Б В.2.7-110-2001 (ГОСТ 30698-2000) [1], ДСТУ EN 1863-2:2008 [2], ДСТУ EN 13024-2:2008 [3]; ДСТУ EN 14321-2:2019 [4].

Більшість українських компаній виготовляють загартоване скло відповідно до вимог стандарту ДСТУ Б В.2.7-110-2001. Цей стандарт поширюється на скло загартоване, що призначене для безпечного скління світлопрозорих будівельних конструкцій (віконних і дверних блоків, вітрин, елементів обгородження лоджій, балконів, структурного скління фасадів тощо). Вимоги цього стандарту є обов'язковими. В стандарті встановлено низку метрологічних вимог, зокрема, до граничних відхилень від номінальних довжини і ширини скляних виробів, до граничних відхилень товщини листів скла, до відхилення від площинності листів скла та до відхилення від прямолінійності кромки скла. Також в стандарті зазначені методи контролю готових виробів та гарантійний термін зберігання скла [1].

Основним зауваженням до цього стандарту є те, що він був розроблений в російській федерації як міждержавний стандарт і в Україні фактично набув чинності методом перекладу українською мовою. До недавнього часу найбільшими постачальниками скла в Україну були росія та білорусь, але враховуючи військові дії цих країн на території України та перспективи членства нашої держави в Європейському Союзі, потрібно відмовитись від використання цього стандарту і послуговуватися нормативними документами гармонізованими з вимогами ЄС.

Стандарт ДСТУ EN 1863-2:2008 є тотожним перекладом стандарту EN 1863-2:2004. Цей стандарт стосується оцінювання відповідності продукції вимогам та системам контролювання продукції на підприємстві під час виробництва листового загартованого вапняно-натрієвого силікатного скла, призначеного для використання в будівництві [2]. Стандарт ДСТУ EN 13024-2:2008 є тотожним перекладом EN 13024-2:2004, який стосується оцінювання відповідності продукції вимогам та системам контролювання продукції на підприємстві під час виробництва листового загартованого боросилікатного захисного скла, призначеного для використання в будівництві [3]. Ці два стандарти використовуються при виготовленні захисного загартованого скла для об'єктів, що підлягають охороні, зокрема банків та музеїв.

Стосовно стандарту ДСТУ EN 14321-2:2019, то його прийнято як національний стандарт методом підтвердження за позначенням і доступний для використання тільки англійською мовою [4].

Під час аналізу стандарту ДСТУ EN 14351-1:2020 в частині 4.24.1 «Безрамні скляні двері», виявлено, що скло в безрамних скляних дверях повинно відповідати вимогам низки інших стандартів, а саме EN 1863-2, EN 12150-2, EN ISO 12543-2, EN 14179-2 або EN 14321-2 [5]. Отже, в результаті аналізу виявлені нормативні вимоги до скла в будівництві ще трьох стандартів. Такі нормативні документи як: ДСТУ EN 12150-2:2008. [6], ДСТУ EN 14179-2:2019 [7] гармонізовані з вимогами стандартів серії EN і застосовуються не тільки для виготовлення безрамних скляних дверей, але й монтажу великогабаритних фасадних систем із загар-

тованого скла. Вимоги стандарту EN ISO 12543-2:2021 стосуються багат шарового безпечного скла і на даний момент цей нормативний документ не гармонізований в Україні [8].

Проведений аналіз нормативних документів на виготовлення та підтвердження відповідності виробів із загартованого скла дозволяє зробити висновок, що більшість національних стандартів гармонізовані і вже відповідають вимогам європейських стандартів (EN). Один із важливих стандартів ДСТУ Б В.2.7-110-2001 потрібно або скасувати, або провести його гармонізацію з вимогами стандартів EN. Гармонізація стандартів дозволяє інтенсифікувати ринкові процеси, а саме надати доступ до будівельної галузі європейським виробникам загартованого скла, а в майбутньому експортувати вироби українських підприємств за кордон. Окрім того, це спростить та уніфікує вимоги як до засобів монтажу, так і засобів контролю якості під час монтажу та експлуатації виробів із великогабаритних стекол.

1. ДСТУ Б В.2.7-110-2001 (ГОСТ 30698-2000) Будівельні матеріали. Скло загартоване будівельне. Технічні умови [Чинний від 2002-01-01]. – К: Держстандарт України. – 26 с.

2. ДСТУ EN 1863-2:2008 Скло в будівництві. Скло загартоване вапняно-натрієве силікатне. Частина 2. Оцінювання відповідності продукції (EN 1863-2:2004, IDT) [Чинний від 2010-07-01]. – К: Держспоживстандарт України. – 30 с.

3. ДСТУ EN 13024-2:2008 Скло в будівництві. Скло загартоване боросилікатне захисне. Частина 2. Оцінювання відповідності продукції (EN 13024-2:2004, IDT) [Чинний від 2010-07-01]. – К: Держспоживстандарт України. – 32 с.

4. ДСТУ EN 14321-2:2019 Скло в будівництві. Скло загартоване лужноземельне силікатне безпечне. Частина 2. Оцінка відповідності. Стандарт на продукцію (EN 14321-2:2005, IDT) [Чинний від 2020-01-01 мова оригіналу]. – К: ДП «УкрНДНЦ».

5. ДСТУ EN 14351-1:2020 Вікна та двері. Вимоги. Частина 1. Вікна та зовнішні двері (EN 14351-1:2006 + A2:2016, IDT) [Чинний від 2021-02-01]. – К: ДП «УкрНДНЦ».

6. ДСТУ EN 12150-2:2008 Скло в будівництві. Загартоване вапняно-натрієве силікатне захисне скло. Частина 2. Оцінювання відповідності продукції (EN 12150-2:2004, IDT) [Чинний від 2010-01-01]. – К: Держспоживстандарт України.

7. ДСТУ EN 14179-2:2019 Скло в будівництві. Загартоване термовитримане натрій-кальцій-силікатне безпечне скло. Частина 2. Оцінка відповідності. Стандарт на продукцію (EN 14179-2:2005, IDT) [Чинний від 2020-01-01 мова оригіналу]. – К: ДП «УкрНДНЦ».

8. EN ISO 12543-2:2021 Glass in building – Laminated glass and laminated safety glass – Part 2: Laminated safety glass.

## КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ РОЗПОРОШЕНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ПІДХОДІВ

© Василь Яцук<sup>1</sup>, Юрій Яцук<sup>2</sup>, 2022

<sup>1</sup> Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна), д.т.н., проф, vasyli.o.yatsyk@lpnu.ua ,  
<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна), к.т.н., доц, juriiv.v.yatsuk@lpnu.ua

Цифрова трансформація швидко змінює суспільство та економіку через широке впровадження мікроелектронних і цифрових технологій, опрацювання великих масивів даних, штучному інтелекту та цифровій інформації. Метрологія як центральний елемент міжнародної торгівлі, для довіри до вимірювань і частина інфраструктури якості стикається з новими проблемами та можливостями під час цієї трансформації [1]. Серед них однією з найбільших є метрологічна надійність отримуваних, перетворюваних, передаваних та зберезуваних даних в кіберфізичних системах (КФС) та IoT. Розпорошеність таких систем практично унеможливує використання традиційних підходів до верифікації вимірювальних каналів, яка повинна проводитися в спеціальних вимірювальних або калібрувальних лабораторіях [2].

На шляху до входження України в ЄС необхідним є гармонізувати науково-технічну політику з міжнародними і європейськими вимогами. На шляху до цього авторами запропонований підхід до оперативного контролювання та калібрування вимірювальних каналів КФС та IoT з використанням міжнародної концепції систематичного виявлення незвичних відхилень під час протікання технологічних процесів. Для цього міжнародними нормативними документами пропонується часте контролювання вимірювальних каналів з допомогою робочих еталонів та [3, 4]. Автори пропонують використовувати малогабаритні кодокеровані міри напруги для оперативного контролювання вимірювальних каналів напруги постійного струму та ерс. Ці сигнали використовуються як базові для побудови інтегральних АЦП. Завдяки розвитку мікроелектронних технологій інтегральні АЦП стали недорогими, що дало можливість практичної реалізації розпорошених КФС. АЦП як інструментальна основа вимірювальних каналів КФС значною мірою визначають їх метрологічні характеристики. Через можливі зміни умов експлуатації та з плином часу метрологічні параметри АЦП можуть суттєво змінюватись, для коригування яких слід використовувати прецизійні кодокеровані міри, параметри яких за вказаних умов практично не змінюватимуться. Тому авторами запропоновано структуру кодокерованої міри напруги з автокоригуванням її найбільшої адитивної складової (АСП) для поточних значень коду керування в широкому діапазоні зміни параметрів робочих умов експлуатації. Принцип її дії полягає в подвійному комутаційному інвертуванні вхідного і вихідного сигналів міри напруги та запам'ятовуванні та алгебричному підсумовуванні вихідних сигналів калібратора напруги постійного струму. В результаті напруги зміщення повторювачів напруги, кодокерованого подільника напруги та масштабного подільника напруги для будь-яких значень кодів керування та піддіапазонів відтворення різночасово і з різними знаками запам'ятовуються і коригуються на обидвох запам'ятовувальних конденсаторах, що розширює функціональні можливості щодо автоматичного перемикавання піддіапазонів відтворення. Окрім того калібратор напруги постійного струму може працювати як з дво-, так і з однополярним блоком живлення без жодних змін в конфігурації його схеми.

1. S. Eichstädt, A. Keidel, J. Tesch. *Metrology for the digital age. Measurement: Sensors, Vol. 18, December 2021, 100232.* <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100232>.

2. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 *Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.*

3. ДСТУ ISO 10012:2005 *Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання.*

4. ДСТУ OIML D 16:2008 *Метрологія. Принципи забезпечення метрологічного контролю (OIML D 16:1986, IDT).*

ЕЛЕКТРОННЕ НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**МІЖНАРОДНА  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
«Інформаційно-вимірювальні  
технології ІВТ-2022»**

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

**9–10 листопада 2022 р.**

Режим доступу:

<https://science.lpnu.ua/ivt-2022/proceedings-2022>

Відповідальний за випуск **М. М. Микийчук**

Видавець і виготівник: Видавництво Львівської політехніки  
*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4459 від 27.12.2012 р.*

*вул. Ф. Колесси, 4, Львів, 79013*  
тел. +380 32 2584103, факс +380 32 2584101  
vlp.com.ua, ел. пошта: [vmr@vlp.com.ua](mailto:vmr@vlp.com.ua)