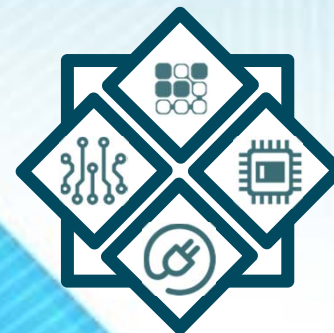


**ХІ МНТК «ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2024»**



**ДПС - 2024**

**Міжнародна  
науково-технічна  
конференція  
"Датчики, прилади  
та системи"**

## **ЗБІРНИК ПРАЦЬ**

**XI Міжнародної науково-технічної конференції**

# **ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2024»**

**присвяченої пам'яті професора Шарапова В.М.**

**30 – 31 травня 2024 р.  
Черкаси**

# ЗБІРНИК ПРАЦЬ

## XI Міжнародної науково-технічної конференції «ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2024»

присвяченої пам'яті професора Шарапова В.М.

Головний редактор – д.т.н., професор **Бондаренко Максим Олексійович**  
Відповідальний за випуск – доктор філос. **Топтун Анна Володимирівна**

### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Bożena Gajdzik** – Dr hab. inż., Professor PS,  
Silesian University of Technology, Poland  
**Cristian Barz** – PhD, Associate Professor Eng.,  
TU of Cluj-Napoca, North University Center  
of Baia Mare, Romania  
**Dorota Wójcicka-Migasiuk** – Dr hab. inż.,  
Professor, Politechnika Lubelska, Poland  
**Michał Bembenek** – D.Sc.Tech., Professor, AGH  
USTK, Poland  
**Mykhaylo Pashechko** – Dr hab. inż., Professor,  
Politechnika Lubelska, Poland  
**Oleksandra Hotra** – Dr hab. inż., Professor,  
Politechnika Lubelska, Poland  
**Ryszard Machnik** – D.Sc.Tech., Professor, AGH  
USTK, Poland  
**Аксьонов В.В.** – ЧНДЦЕКЦ МВС України,  
Черкаси  
**Алпатов А.П.** – д-р техн. наук, професор, член-  
кор. НАНУ, ІТМ НАНУ та НКАУ, Дніпро  
**Антонюк В.С.** – д-р техн. наук, професор,  
НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Київ  
**Гальченко В.Я.** – д-р техн. наук, професор,  
ЧДТУ, Черкаси  
**Гордієнко В.І.** – д-р техн. наук, стар. наук.  
співроб., ЧДТУ, Черкаси  
**Єременко В.С.** – д-р техн. наук, професор,  
НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Київ  
**Квасніков В.П.** – д-р техн. наук, професор,  
НАУ, Київ  
**Квєтний Р.Н.** – д-р техн. наук, професор,  
ВНТУ, Вінниця  
**Кошовий М.Д.** – д-р техн. наук, професор,  
НАКУ «ХАІ», Харків  
**Мусієнко М.П.** – д-р техн. наук, професор, ЧНУ  
ім. Б. Хмельницького, Черкаси  
**Ропяк Л.Я.** – д-р техн. наук, професор, ІФНУ  
нафти і газу, Івано-Франківськ  
**Рудницький В.М.** – д-р техн. наук, професор,  
ДНДІВСОВТ, Черкаси  
**Ситніков В.С.** – д-р техн. наук, професор,  
ОНПУ, Одеса  
**Тимчик Г.С.** – д-р техн. наук, професор, НТУУ  
«КПІ ім. І. Сікорського», Київ  
**Халіяко В.В.** – ЧНДЦЕКЦ МВС України,  
Черкаси

### У НОМЕРІ

- МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ
- ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЄКТУВАННЯ ТА  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ, ПРИ-  
ЛАДІВ І СИСТЕМ ДЛЯ РОБОТОТЕХ-  
НІКИ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ
- КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ
- МІКРО- ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ У  
ПРИЛАДОБУДУВАННІ
- ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У  
ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ
- ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ
- НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ТА  
СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО  
МОНІТОРИНГУ
- ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА  
ЕНЕРГОБЕЗПЕКА
- ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У  
МЕДИЧНОМУ ПРИЛАДОБУДУВАННІ
- ЕКОНОМІКА, МЕНЕДЖМЕНТ ТА  
МАРКЕТИНГ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ
- ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ОСВІТНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ ЗА ПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ  
ТЕХНІЧНОГО ПРОФІЛЮ

### АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ

Україна, 18006, м. Черкаси,  
бул. Т. Шевченка, 460, ЧДТУ,  
кафедра ПМКТ, оргкомітет  
IX Міжнарод. наук.-техн. конференції  
“Датчики, прилади та системи – 2024”

Збірник праць Одинадцятій Міжнародній науково-технічній конференції «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, 30 – 31 травня 2024.

**Мета конференції:** зустріч науковців в областях точного приладобудування, мікро- та наноелектроніки, наноінженерії, фахівців з проектування, конструювання та метрологічного забезпечення датчиків, приладів та систем, а також фахівців з комп'ютерної інженерії та фахівців з проведення експертних досліджень в різних галузях, фахівців з енергетичного аудиту, енергоефективності та енергобезпеки для обміну ідеями, обговорення тенденцій та перспектив розвитку науки, профільних та суміжних галузей, встановлення контактів.

Статті друкуються в авторській редакції.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір та точність наведених фактів і цитат, статистичних та технічних даних, власних імен та інших поданих відомостей.

Редколегія не несе відповідальності за достовірність поданого матеріалу, проте залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали з метою кращого подання читачам.

## ОПЕРАТИВНА ПАМ'ЯТЬ, ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНО-ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТИЗАХ

*Volatility, комп'ютерна криміналістика, Python, Windows, Linux*

*Volatility, digital forensics, python, Windows, Linux*

### АВТОР

*Гожий Олександр Олександрович, старший судовий експерт відділу комп'ютерно-технічних та телекомунікаційних досліджень Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр Міністерства внутрішніх справ України, м. Черкаси*

### АНОТАЦІЯ

*Сучасна комп'ютерна криміналістика часто уникає дослідження напрямку, пов'язаного з аналізом оперативної пам'яті. Проте варто відзначити, що вміст оперативної пам'яті працюючої операційної системи представляє значний інтерес для дослідження. Цей вміст може містити інформацію не лише про роботу системи або окремих процесів, але й про авторизаційні дані чи ключі шифрування інформації.*

*Мета даної роботи полягає у вирішенні питань, пов'язаних з пошуком та вибором інструментів для створення знімків оперативної пам'яті та їх подальшого аналізу. Для обґрунтованого вибору певного програмного засобу для виконання вказаних завдань проводиться апробація програмного забезпечення та аналіз отриманих результатів.*

### ABSTRACT

*Contemporary practices in computer forensics often overlook the analysis of Random Access Memory (RAM) due to its inherent complexity. However, RAM presents an intriguing subject for investigation, as it harbours crucial data structures and information pertaining to running processes and the kernel. This encompasses the virtual memory of all active processes, kernel virtual memory, handles, mutexes, network connections, and various other resources currently utilized by the system. These data and structures are accessible within a memory dump, potentially containing valuable decryption keys pertinent to computer forensics investigations.*

*The primary objective of this article is to explore and evaluate tools tailored for RAM forensics. The authors delineate the most pertinent steps required for RAM analysis, drawing insights from esteemed forensic literature and contemporary scientific research. Subsequently, original research is conducted, involving the testing of select software applications in this domain.*

У сучасному світі спостерігається незупинне зростання впливу цифрових технологій на повсякденне життя. Однією з основних тенденцій є розширення сфери застосування операційних систем, які використовуються для управління різноманітними пристроями. Зараз такі операційні системи керують не лише персональними комп'ютерами чи спеціалізованим обладнанням, а й використовуються в пристроях побутового використання.

Наприклад, телевізор, що є звичайним обладнанням для багатьох людей, може бути перетворений у повноцінний медіацентр за допомогою персонального комп'ютера базового рівня, операційної системи з родини Linux та програмного забезпечення, наприклад, Kodi. Це дозволяє розширити функціональні можливості телевізора та

використовувати його для перегляду відео, прослуховування музики та інших мультимедійних завдань.

Ще одним прикладом є використання одноплатних комп'ютерів, таких як Raspberry Pi, у системах "розумного будинку". Ці комп'ютери використовуються для автоматизації різних процесів в будинку, таких як управління освітленням, підтримання оптимальної температури, безпека тощо. Їх невеликий розмір, низька вартість та потужність роблять їх популярними серед початківців та професіоналів в області "розумних" технологій [1].

У обох випадках навіть мінімальні апаратні засоби знаходяться під керуванням повноцінної операційної системи з сімейства Linux, яка зазвичай не має кардинальних відмінностей від систем, що



використовуються на більш «серйозному» обладнанні. Разом із значним розповсюдженням як операційних систем загалом, так і окремих програмних засобів, значно збільшилась кількість випадків неправомірного втручання в їх роботу. Дедалі частіше судовим експертам за напрямком комп'ютерно-технічних досліджень потрібно проводити дослідження специфічних програмних засобів, що зазвичай класифікуються як шкідливі чи небезпечні.

У ході своєї діяльності деякі програмні засоби можуть породжувати певні процеси, створювати файли або записи реєстру, встановлювати додаткові бібліотеки або навіть самостійно виконувати встановлення окремого програмного забезпечення [1, 2]. Зазвичай така інформація не зберігається в енергонезалежній пам'яті, а записується у тимчасову (оперативну). Після виконання необхідних операцій програмні засоби іноді автоматично видаляються або кардинально модифікують свою структуру. Ці дії здійснюються з метою ускладнення проведення аналізу роботи певних програмних засобів, приховання загального функціонування комп'ютерної програми або певних її можливостей [3].

Проведення дослідження програмного забезпечення, яке видаляється автоматично або зберігається в тимчасовій пам'яті, вимагає від судового експерта застосування нових методів дослідження. Традиційні методи, такі як дослідження образу носія цифрової інформації, зазвичай не включають в себе інформацію про функціонування певних програмних засобів. Пряме дослідження вмісту носія інформації іноді дозволяє встановити лише факт наявності програмного забезпечення, але не гарантує можливість виявлення його фактичного використання.

У процесі аналізу судовим експертам потрібно мати доступ як до енергонезалежної пам'яті, так і до тимчасової для забезпечення повного та об'єктивного дослідження. Важливо зазначити, що під тимчасовою пам'яттю розуміється не лише тимчасові

файлові системи, що зазвичай розміщуються в оперативній пам'яті, але й сама оперативна пам'ять загалом.

Оперативна пам'ять містить структури даних та інформацію про активні процеси в системі. Сюди входить віртуальна пам'ять усіх процесів, віртуальна пам'ять ядра, дескриптори, мережеві з'єднання та інші ресурси, які використовуються активними процесами.

Дослідження оперативної пам'яті надає можливість отримати доступ до даних, які не зберігаються на енергонезалежних носіях інформації, а також провести дослідження "в динаміці". Створюючи послідовно дампи пам'яті, можна аналізувати зміни в інформації. Однак створення дампу оперативної пам'яті не є тривіальним завданням.

Варто врахувати, що досліджуване програмне забезпечення зазвичай має захисні функції від аналізу. Якщо в системі виявлено активний програмний засіб для аналізу, то процес може припинити своє виконання або навіть призупинити операційну систему загалом. Застосування спеціалізованого програмного забезпечення для створення дампу оперативної пам'яті системи в таких умовах фактично є неефективним.

Розміщення образу досліджуваного носія інформації в віртуальному середовищі та запуск системи у рамках віртуальної машини є більш доцільним підходом. Використання окремої віртуальної машини дозволяє провести дослідження оперативної пам'яті системи без необхідності встановлення додаткових інструментів аналізу та уникнути майже будь-яких захистів від проведення аналізу.

У процесі підготовки до проведення аналізу дампу пам'яті слід враховувати, що деякі дані можуть знаходитись в області віртуальної пам'яті, так званому "свопі". Менеджер віртуальної пам'яті пересилає на диск інформацію, яка не потребує негайної обробки. Таким чином, аналіз лише дампу оперативної пам'яті не гарантує повноти та

об'єктивності дослідження, оскільки залишається недослідженою інформація про процеси з низьким пріоритетом [4, 5]. Ця проблема, однак, може бути вирішена в процесі налаштування віртуального середовища. Для уникнення використання своєї системою, достатньо виділити віртуальній машині достатню кількість оперативної пам'яті.

Після отримання дампу оперативної пам'яті виникає питання вибору інструменту для аналізу та узагальнення отриманих даних, що є ключовим для всього дослідження, оскільки вибір інструменту повністю залежить від характеристик досліджуваної системи та поставлених завдань.

Аналізуючи сучасні дослідження в галузі аналізу оперативної пам'яті [3, 4, 5], встановлено, що найбільш актуальним інструментом для аналізу вмісту оперативної пам'яті операційних систем є програмний засіб "Volatility".

"Volatility" – це безкоштовна інфраструктура програмних рішень для криміналістичного аналізу інформаційного вмісту оперативної пам'яті. Його потужність

ґрунтується на модульності, що дозволяє підключати велику кількість плагінів, кожен з яких вирішує певне завдання. Фреймворк дозволяє підключати велику кількість плагінів, кожен з яких вирішує певне завдання. Це дає можливість проводити різноманітний аналіз оперативної пам'яті, включаючи виявлення вразливостей, пошук шкідливих програм, відновлення видалених файлів та багато іншого.

Програмний засіб написаний на мові програмування Python і підтримує структуру пам'яті операційних систем сімейства Windows, Mac OS та Linux. Відкритість вихідних кодів дозволяє аналізувати алгоритми роботи існуючих плагінів та створювати власні, адаптуючи їх під вирішення конкретних завдань.

Дослідження можливостей "Volatility" показало, що найбільш функціональні можливості доступні для аналізу оперативної пам'яті операційних систем сімейства Windows, тоді як можливості для аналізу пам'яті систем сімейства OS X чи Linux обмежені.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Holt, T., Bossler, A., & Seigfried-Spellar, K. (2018). *Cybercrime and Digital Forensics*. NY: Routledge.
2. Mohanta, A., & Saldanha, A. (2020). *Malware Analysis and Detection Engineering a Comprehensive Approach to Detect and Analyze Modern Malware*. California: Apress Media.
3. Wong, R. (2018). *Mastering Reverse Engineering*. UK, Birmingham: Packt Publishing Ltd.
4. Arnes, A. (2018). *Digital Forensics*. Hoboken, NJ: Wiley.
5. Hale Ligh et al. (2018). *The Art of Memory Forensics: Detecting Malware and Threats in Windows, Linux, and Mac Memory*. Hoboken, NJ: Wiley.

Гожий, О.О. (30-31 травня 2024). *Оперативна пам'ять, як об'єкт дослідження в комп'ютерно-технічних експертизах* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Gozhyi, O.O. (2024, May 30-31). *RAM as an object of research in computer-technical examinations* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ В РАМКАХ СУДОВИХ КОМП'ЮТЕРНО- ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРИЗ

Цифрова криміналістика, UFED, XRY, Oxygen, Passware Kit

digital forensics, UFED, XRY, Oxygen, Passware Kit

### АВТОР

*Пташкін Роман Леонідович, заступник завідувача відділу комп'ютерно-технічних та телекомунікаційних досліджень Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр Міністерства внутрішніх справ України, м. Черкаси*

### АНОТАЦІЯ

*В цій роботі проаналізовано чотири ключові програми для дослідження мобільних телефонів в рамках судових комп'ютерно-технічних експертиз: Cellebrite UFED, XRY, Oxygen Forensic Detective і Passware Kit Mobile. Кожна програма детально описана з урахуванням її можливостей та унікальних функцій. Проведеним аналізом встановлено, що кожна з цих програм має свої переваги та обмеження. Cellebrite UFED відзначається широким спектром функцій, XRY – ефективним відновленням видалених даних, Oxygen Forensic Detective – глибоким аналізом метаданих, а Passware Kit Mobile – зламом паролів. Розглянуті програмні засоби сприяють покращенню об'єктивності та ефективності дослідження мобільних пристроїв у судово-експертній діяльності.*

### ABSTRACT

*The article examines four key programs for mobile phone investigation within the framework of forensic computer-technical expertise are analysed: Cellebrite UFED, XRY, Oxygen Forensic Detective, and Passware Kit Mobile. Each program is described in detail, taking into account its capabilities and unique features. The analysis conducted revealed that each of these programs has its own advantages and limitations. Cellebrite UFED is characterized by a wide range of functions, XRY by effective data recovery, Oxygen Forensic Detective by in-depth metadata analysis, and Passware Kit Mobile by password cracking. The examined software tools contribute to improving the objectivity and effectiveness of mobile device investigations in forensic activities.*

Сучасні технології в сфері мобільних засобів зв'язку, зокрема смартфони, стали невід'ємним елементом повсякденного життя. Використання смартфонів у різних сферах діяльності людини, включаючи протиправну діяльність, призвело до того, що мобільні пристрої стали важливим доказовим матеріалом у судових справах. Дослідження смартфонів в рамках судової комп'ютерно-технічної експертизи іноді фактично є ключовим елементом в забезпеченні об'єктивності та правдивості судового розгляду.

Судова комп'ютерно-технічна експертиза смартфонів є складним та багатовимірним процесом, що вимагає спеціалізованого підходу та використання різноманітних технічних засобів та методів. Під час експертизи проводиться аналіз апаратної та програмної частини смартфона, включаючи його технічні характеристики, системні файли, структуру файлової системи та інші аспекти,

що мають важливе значення для виявлення та аналізу інформації.

Основні завдання судової комп'ютерно-технічної експертизи смартфонів зазвичай включають етапи виявлення та відновлення видаленої інформації, аналіз доступних системних файлів та їх метаданих, виявлення слідів модифікації або втручання у пристрій, визначення структури наявних програмних засобів, а також аналіз активності користувача та зв'язків досліджуваного об'єкту з іншими пристроями та мережами.

Для проведення комп'ютерно-технічної експертизи смартфонів використовуються різноманітні програмні та апаратні засоби. Серед програмних засобів можна виділити спеціалізовані програмні та програмно-апаратні комплекси, котрі виконують завдання аналізу файлової системи, відновлення видаленої інформації, а також аналізу мережевої активності та взаємодії з іншими пристроями. Щодо суто апаратних засобів – вони включають у себе спеціалізовані пристрої

для екстракції даних з смартфона (як то фотофіксація), апаратне забезпечення для аналізу мережевої активності, а також інші спеціалізовані засоби, що дозволяють проводити детальне та об'єктивне дослідження пристрою.

Основна відмінність між загальнодоступним програмним забезпеченням та спеціалізованим полягає в тому, що спеціалізоване програмне забезпечення розроблене з урахуванням специфіки як смартфонів так й їхніх операційних систем, та обов'язково вимог судової практики. Спеціалізовані програмні засоби надають можливість проводити ретельний аналіз файлової системи смартфона, в окремих випадках навіть відновлювати видалену інформацію, аналізувати файли окремого програмного забезпечення, що було інстальоване безпосередньо користувачем, тощо.

Одним з прикладів такого спеціалізованого програмного забезпечення є Cellebrite UFED (Universal Forensic Extraction Device). Фактично це комплексне програмно-апаратне рішення, призначене для проведення судових комп'ютерно-технічних досліджень мобільних пристроїв, зокрема смартфонів. Ця технологія розроблена компанією Cellebrite, яка спеціалізується на розробці рішень для цифрового розслідування та аналізу електронних доказів.

UFED дозволяє проводити екстракцію даних з різних типів мобільних пристроїв, включаючи смартфони на базі iOS, Android, BlackBerry, Windows Phone та інших операційних системах. Це програмне забезпечення та апаратне рішення надає можливість отримувати доступ до різних типів даних на пристроях, включаючи текстові повідомлення, контакти, фотографії, відео, вихідні дані GPS, історію дзвінків та інші цифрові сліди. Також Cellebrite UFED надає можливість детального аналізу та автоматичного опрацювання вилучених даних, що дозволяє проводити ретельне та всебічне дослідження цифрових слідів у судових комп'ютерно-технічних експертизах [1].

Також варто зауважити, що UFED це один з небагатьох програмно-апаратних засобів, який здатний відновлювати видалені дані з мобільних пристроїв, включаючи повідомлення, фотографії та інші файли, які можуть бути важливими для об'єктивного та всебічного досудового розслідування.

Загалом, Cellebrite UFED є надзвичайно потужним інструментом для проведення комп'ютерно-технічних досліджень мобільних пристроїв та формування надійної доказової бази для судових справ та розслідувань.

Іншим прикладом спеціалізованого програмного забезпечення для проведення комп'ютерно-технічних досліджень мобільних пристроїв є програмний засіб XRY. Основною функцією цього програмного комплексу є відновлення видалених даних з різних мобільних пристроїв, таких як смартфони, планшети та інші пристрої на базі операційних систем Android, iOS, Windows та інших [2]. XRY забезпечує доступ до широкого спектру даних, включаючи текстові повідомлення, фотографії, відео, журнали дзвінків, контакти, календарні події та іншу інформацію, яка зазвичай має надзвичайну вагомість в формуванні матеріалів справи.

Однією з ключових особливостей XRY є його здатність працювати з різними моделями та версіями мобільних пристроїв, що дозволяє використовувати це програмне забезпечення у широкому спектрі ситуацій.

Розглянемо ще один приклад програмного комплексу, котрий є надзвичайно ефективним для дослідження мобільних пристроїв – Oxygen Forensic Detective. Цей засіб є одним з ключових знарядь в арсеналі судового експерта за напрямком комп'ютерно-технічних досліджень та з надзвичайною ефективністю застосовується для криміналістичного аналізу мобільних пристроїв та їх детального дослідження та аналізу інформації, що міститься на таких пристроях. Основними завданнями програми є відновлення видалених даних, аналіз метаданих, включаючи геолокаційні дані, а також аналіз інформації, що міститься у різних додатках, як найрозповсюдженіший приклад – листування в різних меседжерах [3].



Однією з ключових переваг Oxygen Forensic Detective є його здатність працювати з надзвичайно широким спектром мобільних пристроїв та операційних систем, що дозволяє використовувати програму у різних сценаріях криміналістичного аналізу. Використання програми сприяє забезпеченню об'єктивності та беззаперечної достовірності доказів, що має важливе значення у розслідуванні кримінальних правопорушень.

Й на сам кінець розглянемо доволі специфічне спеціалізоване програмне забезпечення – Passware Kit Mobile. Цей програмний засіб спроектований для криміналістичного аналізу мобільних пристроїв з метою отримання доступу до зашифрованих даних та відновлення паролів до різних додатків і сервісів на мобільних пристроях. Ця програма є надзвичайно важливим інструментом для дослідження мобільних пристроїв, оскільки забезпечує можливість отримання доказів з мобільних пристроїв, які можуть бути зашифровані різними методами криптографічного захисту або ж захищені паролями [4].

Після детального аналізу різноманітних програмних засобів для криміналістичного дослідження мобільних телефонів можна зробити висновок, що такі інструменти є невід'ємною складовою у сфері цифрового криміналістичного аналізу. Кожна з розглянутих програм, така як Cellebrite UFED, XRY, Oxygen Forensic Detective і Passware Kit Mobile, має свої унікальні функції та

можливості, що робить їх важливими для ефективного розслідування різноманітних кримінальних випадків.

Cellebrite UFED є потужним інструментом для екстракції та аналізу даних з різних мобільних пристроїв, зокрема смартфонів та планшетів. Він дозволяє отримувати доступ до широкого спектру інформації, включаючи видалені дані, що може бути корисною для кримінального розслідування.

XRY, зі своїм відновленням видалених даних та аналізом метаданих, також є важливим інструментом для кримінально-правового аналізу мобільних пристроїв.

Oxygen Forensic Detective надає можливість проводити глибокий аналіз даних, включаючи інформацію з різних додатків, що дозволяє розкрити ключові деталі кримінальних випадків.

Нарешті, Passware Kit Mobile відзначається своїми можливостями з розкриття паролів та доступу до зашифрованих даних на мобільних пристроях, що може бути корисним для отримання доказів у кримінальних справах.

У цілому, кожна з цих програм має свої особливості та переваги, що робить їх важливими для криміналістичного дослідження мобільних телефонів у судовій практиці. Використання таких програмних засобів допомагає забезпечити об'єктивність, достовірність та ефективність проведення досліджень у сфері цифрової криміналістики.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cellebrite UFED. (2024, March 7). <https://cellebrite.com/en/ufed/>
2. XRY – Mobile Data Forensic Phone Extraction & Recovery. (2024, March 7). <https://www.msab.com/product/xry-extract/>
3. Oxygen Forensics: Digital Forensic. (2024, March 7). <https://oxygenforensics.com/>
4. Passware Kit Mobile. (2024, March 7). <https://www.passware.com/kit-mobile/>

Пташкін, Р.Л. (30-31 травня 2024). *Спеціалізовані програмні засоби для дослідження мобільних пристроїв в рамках судових комп'ютерно-технічних експериз* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Ptashkin, R.L. (2024, May 30-31). *Specialised software tools for the investigation of mobile devices in the framework of forensic computer-technical experiments* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## МЕТРОЛОГІЧНЕ РІШЕННЯ НЕЛІНІЙНОСТІ РІВНЯНЬ В СКЛАДІ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

нелінійні рівняння, похибка,  
інтегральний метод

nonlinear equations, error,  
integral method

### АВТОРИ

**Рудаков Сергій Валерійович**, канд. техн. наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

**Отрош Юрій Анатолійович**, д-р техн. наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

### АНОТАЦІЯ

Робота присвячена питанню метрологічно обґрунтованого вирішення нелінійних рівнянь (як окремих, так і систем рівнянь), що виконується у складі інформаційно-вимірювальних систем та автоматичного отримання оцінок похибки одержуваних результатів, успадкованої ними від неточності результатів прямих вимірів, які входять до складу розв'язуваних рівнянь як коефіцієнтів останніх. Розробка нових методів вирішення окремих рівнянь непрямих вимірів та систем таких рівнянь, яка дозволить враховувати похибки коефіцієнтів розв'язуваних рівнянь, забезпечить гарантію достовірності оцінок рішення на кожному кроці застосовуваних ітераційних процедур і буде відповідати вимогам забезпечення єдності вимірів.

### ABSTRACT

The work is devoted to the metrologically justified solution of non-linear equations (both individual and systems of equations), which is performed as part of information and measurement systems and automatically obtaining estimates of the error of the obtained results, inherited by them from the inaccuracy of the results of direct measurements, which are part of the equations to be solved as coefficients of the latter. The development of new methods for solving individual equations of indirect measurements and systems of such equations, which will allow taking into account the errors of the coefficients of the equations being solved, will ensure the reliability of the solution estimates at each step of the applied iterative procedures and will meet the requirements for ensuring the unity of measurements.

Використання інформаційно-вимірювальних систем, їх ускладнення та розвиток цифрових технологій призвели до того, що істотно зростає частка таких вимірювальних ситуацій, коли для отримання результату вимірювань задіяні математичні та чисельні моделі об'єкта вимірювань, без яких виконати вимір виявляється важко чи навіть неможливо. Такі вимірювання відповідають визначення непрямих, оскільки результат визначається з відомих функціональних взаємозв'язків із величинами, чії значення вимірювалися на об'єкт безпосередньо. Отримання кількісної інформації про значення вимірюваної величини здійснюється шляхом вирішення рівнянь математичної моделі.

Розвиток та розповсюдження технологій цифрових двійників складних промислових та виробничих об'єктів також сприяє зростанню описаних вимірювальних ситуацій. Звісно ж, що в найближчі роки частка останніх досягне

певних значень. Використання інформаційно-вимірювальних систем для отримання результатів непрямих вимірів є широко поширеною практикою, оскільки такі системи забезпечують належне одночасне отримання результатів прямих вимірювань величин, чії значення входять у математичну модель об'єкта разом із шуканими значеннями. У обчислювальному блоці подібних інформаційно-вимірювальних систем виконується відповідна математична обробка. Оскільки при цьому використовуються математичні моделі, які описують функціональні залежності між результатами прямих вимірювань та шуканими величинами, то часто доводиться вирішувати нелінійні рівняння чи системи таких рівнянь. Отримані значення прямих вимірювань викривлені похибкою, тому результати подальших розрахунків, що проводяться з ними, також будуть неточні. Їх характеристики похибки мають бути оцінені

та враховані відповідно до метрологічних вимог.

Завдання пошуку розв'язання нелінійних рівнянь чи систем нелінійних рівнянь, чії параметри задані неточно, часто виникає у практиці виконання вимірювань із застосуванням інформаційно-вимірювальних систем при проведенні наукових досліджень при обробці результатів прямих вимірювань для отримання результатів непрямих, сукупних або спільних вимірювань.

Проблему розв'язання рівнянь, яка виникає при непрямих вимірюваннях, виконують інформаційно-вимірювальними системами. В результаті будь-яких вимірювань набувають неточних значень шуканих величин, оскільки дані значення завжди будуть обурені похибками. Щоб обґрунтовано приймати рішення щодо знайдених результатів розрахунків, потрібно виконати оцінку меж їх можливої похибки відповідно до метрологічних вимог, яким підпорядковуються інформаційно-вимірювальні системи. Зроблені з неточними даними розрахунки часто містять в собі ітераційне вирішення завдань, пов'язаних із знаходженням характерних значень (коренів рівнянь або розв'язків систем рівнянь, точок оптимуму і т.і.). Серед сучасних методів, які реалізують у повній мірі метрологічний супровід результатів обчислень з неточними даними можна назвати дві групи: методи, які використовують рандомізацію (метод Монте-Карло [1], метод на основі розподілу Коші [2]), та напіваналітичні методи, які здійснюють аналіз виконуваних обчислювальних процедур за допомогою переважання основних математичних операцій. Наведені методи були розроблені для широкого класу завдань, у яких використовуються обчислення з неточними даними, і можуть бути застосовані для виконання обчислень у метрології. Особливістю всіх перелічених методів є те, що у випадку застосування до ітераційних процедур вони не забезпечують гарантії достовірності оцінок, одержуваних на

проміжних ітераціях, що є важливою та бажаною властивістю для потреб метрологічно значущого програмного забезпечення інформаційно-вимірювальних систем. При організації математичного та алгоритмічного забезпечення вирішення вимірювальних завдань часто застосовують спеціальні підходи, що вимагають урахування особливостей даних завдань при оцінці похибки результатів. Вимірювання багатьох фізичних величин не можна провести безпосередньо. У такому випадку використовують математичні моделі, які описують досліджуваний об'єкт. Використовуючи їх, можна зробити необхідні непрямі вимірювання, при цьому ряд величин вимірюють безпосередньо, а потім шукані значення знаходять за отриманими результатами з використанням відомих рівнянь взаємозв'язку. Подібні завдання з математичної точки зору зводяться до вирішення рівнянь або систем рівнянь, коефіцієнти яких відомі неточно. Це рішення виконується в обчислювальному блоці інформаційно-вимірювальної системи, яка здійснює непряме вимірювання. Воно має бути схильним до метрологічного контролю так як і будь-яка вимірювальна процедура або перетворення. Для пошуку коренів нелінійних рівнянь чи рішень систем подібних рівнянь на практиці у програмному забезпеченні інформаційно-вимірювальних систем застосовують різні ітераційні методи. Перед використанням необхідно задати початкове наближення значення кореня або інтервал (область), що гарантовано містить рішення. Далі відбувається уточнення оцінки рішення до досягнення необхідної точності на кожній ітерації методу. За такого рішення нерідко похибки коефіцієнтів рівнянь (результатів прямих вимірювань) не враховуються, що в результаті може призвести до викривлення отриманих результатів.

Запропоновані методи дозволяють гарантовано отримати шуканий корінь або рішення системи, також вони гарантують

отримання достовірних оцінок їх меж похибки. Використання вихідних даних про неточність параметрів рівнянь (прямих вимірювань) призводить до скорочення числа виконуваних ітерацій. В результаті виконання наведених алгоритмів отримують інтервали значень кореня або рішення системи, такі, що всередині їх меж з урахуванням похибок коефіцієнтів немає підстав для відхилення гіпотези з метрологічної точки зору про те, що виконано рівність  $f(x, p) = 0$  (в у разі вирішення одного рівняння) або  $F(x, p) = 0$  (у разі розв'язання системи рівнянь) вірно. Це означає, що отримано оцінку метрологічної характеристики кореня рівняння чи розв'язання системи рівнянь непрямих вимірів, а зрештою – того результату непрямого вимірювання, який потрібно отримати. Отримані результати мають першорядне значення для інформаційно-вимірювальних систем, у яких завдання розв'язання рівнянь виникає дуже часто. Згідно проведеному моделюванню використання інших підходів до поділу інтервалу локалізації кореня рівняння (не на рівні частини, як у методі бісекції), може призвести до деякого скорочення виконаних ітерацій. Однак, якщо використовувати інформацію про неточність вихідних даних, за аналогією зі способом для бісекції, скорочення часу виконання процедури не буде (що було підтверджено виконаними тестами Matlab), так як у такому разі доведеться виконувати оцінки похибки обчислення значення функції у двох точках: у першій частині алгоритму (замість однієї – у бісекції) або у чотирьох у другій (замість двох – у бісекції).

Також описаний алгоритм інтервальної бісекції можна поширити й у роботі з нечіткими множинами [3]. Неточні дані – такі як результати вимірювань, експертні та інші дані – можуть бути виражені, як інтервали можливих значень з деякою довірчою ймовірністю. Ці значення можна подати як нечіткі множини. В інтервальній бісекції коефіцієнти рівняння задаються як інтервали

можливих значень. У такому випадку, функції приналежності нечітких чисел (параметрів рівняння  $p$ ) можна описати як сімейства вкладених інтервалів. Тоді вкладені інтервали на різних рівнях довіри включатимуть можливі значення змінної при різній довірчій ймовірності. Так, при довірчій ймовірності, що дорівнює одиниці, вкладений інтервал містить у собі значення, які точно потрапляють у безліч значень змінної. При зниженні рівня довіри виходять інтервали, які можливо включають значення змінної – тобто значення, які можуть виникнути, а можуть і ні. Вкладений інтервал при рівні довіри, який дорівнює нулю, завжди такий, що він достовірно ширше за безліч можливих значень змінної.

У роботі була дана оцінка межі похибки одержуваного результату, який виникає через вплив неточності коефіцієнтів рівнянь, які розв'язуються в метрологічно значущому програмному забезпеченні інформаційно-вимірювальних систем. При малих значеннях похибки вихідних даних всі розглянуті методи дають схожі результати та можуть бути використані на вирішення практичних завдань. При підвищенні похибки коефіцієнтів оцінки похибки результатів для деяких методи значно погіршуються. Аналітичний метод розрахунку похибки кореня, заснований на локальному його наближенні рядом Тейлора, усіченим до одного доданку, надають достовірні результати лише за досить близькому значенні кореня рівняння до його точної величини (при його пошуку без урахування похибок коефіцієнтів). Метод інтервальної бісекції показав хороші результати, також з урахуванням того факту, що він дозволяє гарантовано отримати оцінки меж інтервалу можливих значень кореня, його застосування для вирішення рівнянь і систем рівнянь із вимірювальних завдань є найбільш доцільним. Методи дозволяють вирішувати нелінійні рівняння та системи нелінійних рівнянь, які виникають у вимірювальній практиці під час експлуатації інформаційно-



вимірювальних систем. У внаслідок їх застосування знайдено шукані значення вимірюваних величин, а також автоматично оцінено характеристики їхньої граничної похибки. При цьому було враховано характеристики похибки всіх результатів прямих вимірювань, які входять до рівняння або системи рівнянь в якості їх коефіцієнтів.

Таким чином було досягнуто метрологічного супроводу розрахунків, які проводяться в інформаційно-вимірювальних системах та програмах обробки неточних даних, що включають процедури вирішення нелінійних рівнянь і систем рівнянь

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

---

1. Kreinovich, V. & et al. (2017). Monte-Carlo-type techniques for processing interval uncertainty, and their potential engineering applications. *Reliable Computing*, 13 (1), 25-69.
  2. Kreinovich, V., & Nguyen, H.T. (2009). *Towards Intuitive Understanding of the Cauchy Deviate Method for Processing Interval and Fuzzy Uncertainty* [Paper presentation]. IFSA/EUSFLAT Conf., 1264-1269.
  3. Gao, W., Song, C., & Tin-Loi, F. (2010). Probabilistic interval analysis for structures with uncertainty. *Structural Safety*, 32 (3), 191-199.
- 

Рудаков, С.В., Отрош Ю.А. (30-31 травня 2024). *Метрологічне рішення нелінійності рівнянь в складі інформаційно-вимірювальних систем* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※

Rudakov, S.V., & Otrosh, Y.A. (2024, May 30-31). *Metrological solution of nonlinearity of equations in information and measuring systems* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## ВИСОКОВОЛЬТНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

Вимірювальний пристрій, каскадний підсилювач, напруга, опір

Measuring device, cascade amplifier, voltage, resistance

### АВТОРИ

**Довгаль Артем Володимирович**, здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

### АНОТАЦІЯ

Проведено моделювання багатокаскадного високовольтного вимірювального підсилювача, у рамках моделі використовується декілька каскадів операційних підсилювачів для розширення діапазону значень робочої напруги (завдяки послідовному "віртуальному" з'єднанню вихідних напруг окремих каскадів). Доведено, що завдяки використанню кількох каскадів операційних підсилювачів та введенню схеми адитивної корекції похибки можливо суттєво збільшити частотний діапазон підсилювача, а також розширити інтервал робочої напруги, що у свою чергу підвищить якість вимірювання.

### ABSTRACT

A simulation of a multi-stage high-amplitude measuring amplifier is carried out, several stages of operational amplifiers are used within the model to expand the range of operating voltage values (due to the serial "virtual" connection of the output voltages of individual stages). It has been proven that thanks to the use of several stages of operational amplifiers and the introduction of an additive error correction scheme, it is possible to significantly increase the frequency range of the amplifier, as well as to expand the operating voltage interval, which in turn will increase the quality of the measurement.

Дослідження декількох варіантів побудови схем операційних підсилювачів із інвертуючими та неінвертуючими каскадами із залежними і незалежними зв'язками [1, 2] показали, що на частоті 100 кГц через обмежену швидкість наростання, вихідний сигнал спотворюється. При цьому замість синусоїдальної форми, він набуває форми близької до трикутної. Більш наочно це явище спостерігається у разі каскадного з'єднання двох та більше підсилювачів по еквівалентній

схемі інвертуючого підсилювача (рис. 1) [3]. Відповідно, постає задача розробки пристрою, що буде позбавлений вказаних недоліків.

Для уникнення вказаних недоліків використовується послідовне каскадне з'єднання окремих операційних підсилювачів, з метою послідовного з'єднання джерел живлення шляхом формування суматора напруг.

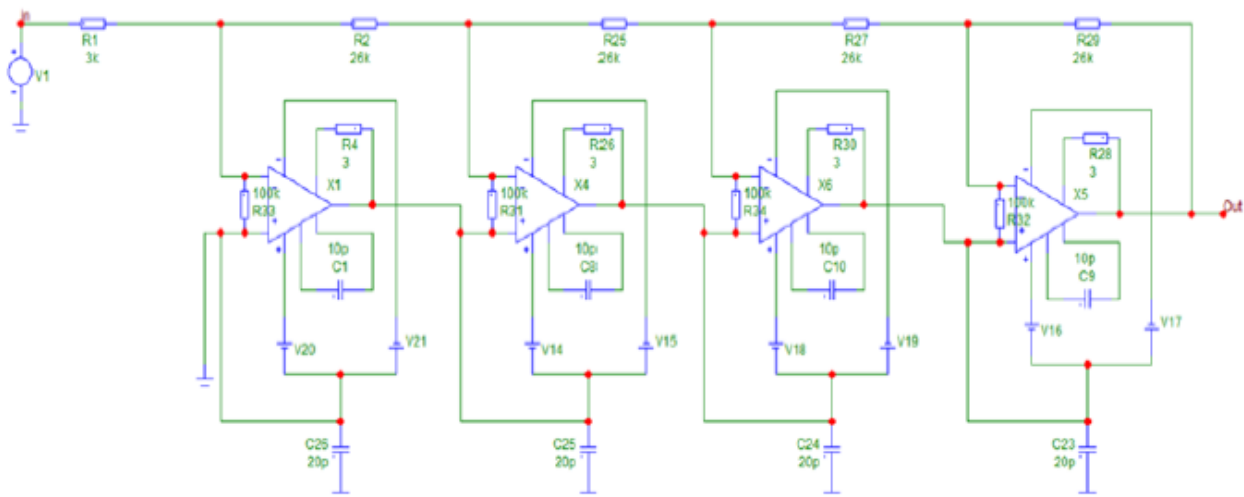


Рис. 1. Схема високовольтного підсилювача на чотирьох операційних підсилювачах

Для аналізу роботи схеми такого підсилювача було виконано моделювання в пакеті MicroCap. Структурна схема моделі

високовольтного вимірювального підсилювача зображена на рис.2.

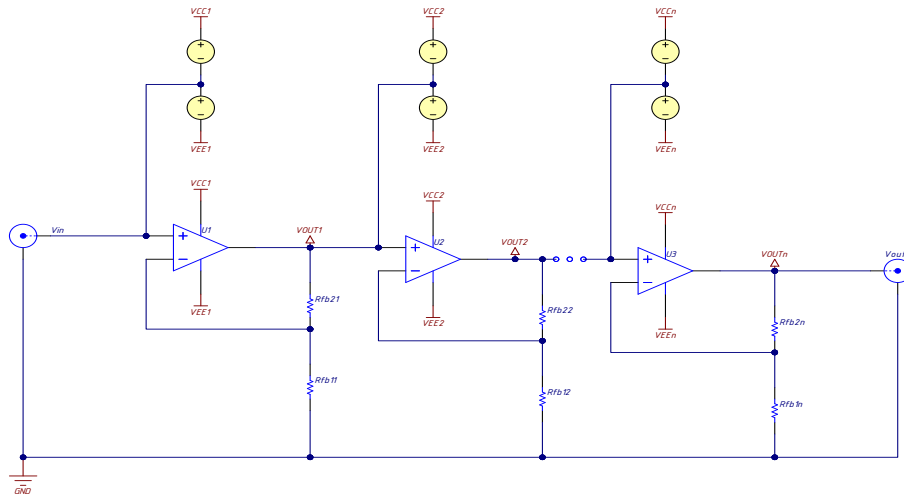


Рис. 2. Структурна схема високовольтного підсилювача

Вказана модель являє собою схему з фіксованим коефіцієнтом перетворення; схема складається з окремих незалежних каскадів операційних підсилювачів, з'єднаних послідовно. Кожен каскад високовольтного підсилювача виконано у вигляді окремого операційного підсилювача з незалежним та гальванічно розв'язаним від інших каскадів, джерелом живлення.

Вхідна напруга, що поступає на вхід кожного каскаду підсилюється у  $K$  разів; це досягається завдяки використанню подільника напруги на резисторах  $R_{fb2}$  та  $R_{fb1}$  в колі зворотного зв'язку. Таким чином напруга на виході кожного з каскадів може бути обчислена за загальною формулою:

$$V_{out_n} = V_{out_{n-1}} \times K_n \quad (1)$$

$$K_n = 1 + \frac{R_{fb2n}}{R_{fb1n}} \quad (2)$$

де  $n$  – номер каскаду підсилювача;  $V_{out_{n-1}}$  – напруга, що надходить на неінвертуючий вхід відповідного підсилювача;  $K_n$  – коефіцієнт подільника зворотного зв'язку.

При цьому формула перетворення для вхідної напруги набуває такий вид:

$$V_{out} = V_{in} \times \prod_{i=1}^n K_i \quad (3)$$

На рис.3 наведені розрахункові діаграми вихідної напруги окремих каскадів.

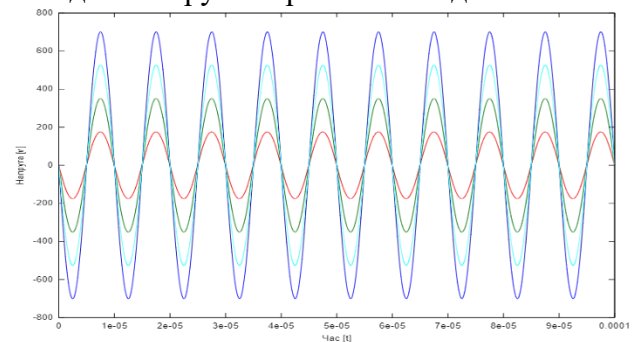


Рис. 3. Діаграми вихідної напруги на виходах каскадів: червоний – вхідний сигнал; зелений – вихідний сигнал першого каскаду, блакитний – вихідний сигнал другого каскаду, синій – вихідний сигнал третього каскаду

При виборі коефіцієнта перетворення для кожного каскаду необхідно умови звертати увагу, щоб вихідна напруга конкретного каскаду не перевищувала суми значень вхідної напруги та напруги джерела живлення:

$$V_n \times K_n < V_{ccn} + V_n \quad (4)$$

$$K_n < \frac{V_{ccn} + V_n}{V_n} \quad (5)$$

Схема електричної моделі високовольтного підсилювача наведена на рис. 4.

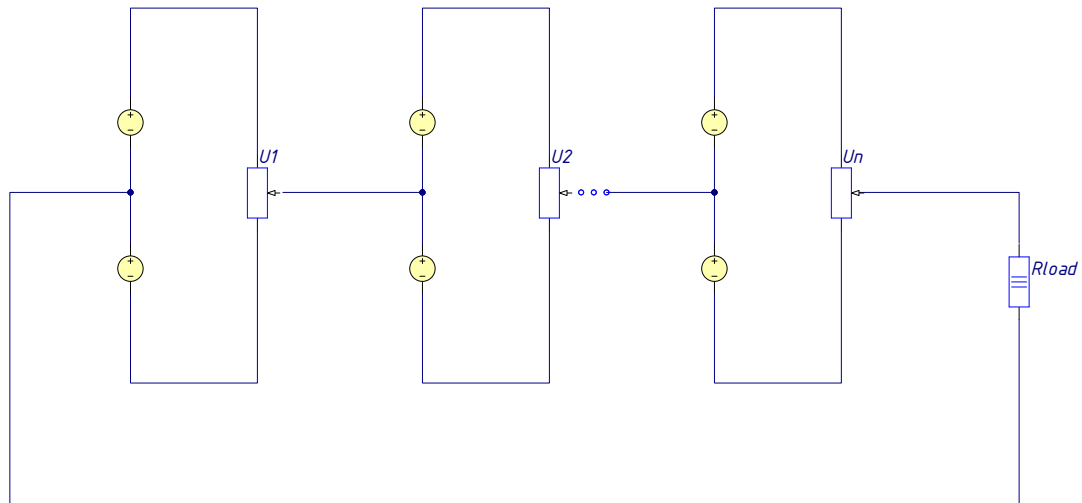


Рис. 4. Електрична модель високовольтного підсилювача

Результати розрахункових досліджень нової моделі ВВП показують, що завдяки використанню кількох каскадів операційних підсилювачів та введенню схеми адитивної корекції похибки можливо суттєво збільшити

частотний діапазон підсилювача, а також розширити інтервал робочої напруги, що у свою чергу підвищить якість вимірювання.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Медяний Л. П. (2017). *Аналогова схемотехніка*. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського.
2. Седов С. О. (2017). *Оброблення сигналів на базі операційних підсилювачів. Схемотехніка. Розрахунки*. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського.
3. Кобзар Д. А., Туз Ю. М. (2016). Моделювання високовольтного широкосмугового вимірювального підсилювача. *Механіка гіроскопічних систем*, 32, 132-139. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/mgs\\_2016\\_32\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/mgs_2016_32_16).

Довгаль, А. В. (30-31 травня 2024). *Високовольтний вимірювальний підсилювач* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна. ※

Dovgal, A. V. (2024, May 30-31). *High voltage measuring amplifier* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].



## ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

пожежна безпека,  
протипожежні перешкоди,  
забезпечення безпеки, проєкт  
fire safety, fire barriers, security,  
project

### АВТОРИ

*Рашикевич Ніна Владиславівна, д-р філос., Національний університет цивільного захисту України, м. Харків*

*Отрош Юрій Анатолійович, д-р техн. наук, професор, Національний університет цивільного захисту України, м. Харків*

### АНОТАЦІЯ

*В роботі авторами проаналізовані пожежі на трансформаторних підстанціях та основні нормативні документи з питань забезпечення пожежної безпеки. Виділені основні причини пожеж та напрями забезпечення безпеки як електроенергетичної системи, так й навколишнього середовища, персоналу підприємства. Основна увага приділена проектуванню огорожуючої протипожежній конструкції.*

### ABSTRACT

*In the work, the authors analyzed fires at transformer substations and the main normative documents on ensuring fire safety. The authors singled out the main causes of fires and ways to ensure the safety of both the electric power system and the environment, as well as the company's personnel. The authors paid the main attention to the design of the enclosing fire protection structure.*

Забезпечення пожежної безпеки трансформаторних підстанцій є актуальним завданням у контексті безперервного функціонування електроенергетичних систем. Трансформаторні підстанції відіграють ключову роль у передачі та розподілі електроенергії. Будь-які випадки пожеж можуть призвести до серйозних наслідків [1–3], включаючи переривання електропостачання, матеріальні збитки та, навіть, загрозу людському життю.

Для запобігання пожежним інцидентам і зменшення їхніх наслідків важливо розробляти та впроваджувати ефективні стратегії протипожежного захисту [4]. Ці стратегії можуть включати в себе використання вогнестійких матеріалів, інсталяцію систем пожежогасіння, вдосконалення процедур евакуації та навчання персоналу щодо пожежної безпеки [5, 6].

У ході аналізу вимог нормативних документів [7–9] виявлено широкий спектр стандартів та рекомендацій, спрямованих на забезпечення безпеки в електроенергетичних системах. В нормативних документах визначені питання щодо проектування,

будівництва, експлуатації та технічного обслуговування трансформаторних підстанцій з метою підвищення стану безпеки персоналу, обладнання та навколишнього середовища [10].

Основні причини виникнення пожеж на трансформаторних підстанціях вказують на технічні недоліки, несправності у системі охолодження, недостатній контроль за пожежонебезпечними процесами, а також на недостатність профілактичних заходів та недбалість у підтримці протипожежних систем. Недостатньо уваги приділяється обмеженню поширенню пожеж за допомогою протипожежних перешкод – огорожуючих конструкцій, які призначені для недопущення розповсюдження або зупинення вогню [11].

При виборі матеріалів для протипожежних перешкод важливо враховувати:

- матеріали повинні мати високу вогнестійкість, щоб утримувати поширення вогню або уповільнювати його розповсюдження. Ідеально, якщо матеріал само згасає, має низький рівень токсичності;
- матеріали повинні зберігати свої структурні властивості під дією високих

температур, щоб не втратити свою ефективність у випадку пожежі;

– протипожежні перешкоди повинні бути достатньо міцними та стійкими, щоб утримувати негативний вплив від пожежі та будь-яких механічних впливів;

Важливо, щоб матеріали були сумісними з іншими системами безпеки, такими як вогнегасники, димові витяжки, аварійні виходи тощо.

Деякі типові матеріали, які часто використовуються для протипожежних перешкод, включають вогнестійкі гіпсокартонні панелі, вогнестійкі штукатурки, вогнестійкі металеві конструкції та спеціальні вогнетривкі текстильні матеріали [12].

Під час спорудження слід особливу увагу приділяти:

1. Розумному поділу функціональної зони.
2. Використанню вогнетривких матеріалів для запобігання додатковим пожежним навантаженням.
3. Розташування має бути встановлено розумно, а відстань між пожежним сповіщувачем, пристроєм автоматичної пожежної сигналізації, системою пожежогасіння та перегородкою має відповідати вимогам.
4. Протипожежні перешкоди можуть блокувати евакуаційний шлях, змінювати траєкторію евакуації, збільшувати складність евакуації.

5. Додавання перешкод може призвести до того, що система контролю диму в будівлі стане неефективною.

Проектні роботи – це важлива складова частина процесу проектування і будівництва трансформаторних підстанцій з урахуванням вимог безпеки та пожежної безпеки.

Пропонується проект на огорожуючу протипожежну конструкцію до складу якого входять розділи:

1. Архітектурно-будівельна частина.
2. Вентиляція.
3. Електроживлення та електроосвітлення.
4. Пожежна сигналізація
5. Автоматизація.

Конструкція із статичної будівельної споруди (трансформаторної підстанції, огороженої сендвіч-панелями) перетворилась в динамічну електрифіковану конструкцію, керовану логічними пристроями, що змінює свої властивості в залежності від стану технологічних параметрів об'єкту.

Відмови трансформаторів можуть бути надзвичайно небезпечними, але, за допомогою належних запобіжних заходів, пожежі можна контролювати та таким чином обмежити пошкодження навколишніх компонентів, мінімізувати час простою підприємства та забезпечити безпеку персоналу [13, 14].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nuclear plant fire sends oil into Hudson River. (2024, March 30). <https://www.cbsnews.com/news/indian-point-nuclear-plant-fire-sends-oil-into-hudson-river/>
2. Old Town transformer fire prompts evacuations Saturday. (2024, March 30). <https://www.coloradoan.com/story/news/2015/05/09/fire-old-town/27050143/>
3. Transformer fire at Georgia Power plant. (2024, March 30). <https://www.powertransformernews.com/2020/09/08/transformer-fire-at-georgia-power-plant/>
4. Тараненко, І. С., Рашкевич, Н. В. (2023). *Питання підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій в умовах сьогодення* [Збірник праць]. XIII Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист», Черкаси, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України.

5. Полупан, В. А., Рашкевич, Н. В., Майборода, Р. І., Отрош, Ю. А., Щолоков, Е. Е. (2022, September 27-30) *Вогнестійкість будівельних конструкцій як елемент системи пожежної безпеки* [Збірник праць]. The I International Scientific and Practical Conference «Current trends in the development of modern scientific thought», Israel, Haifa.
6. Полупан, В. А., Майборода, Р. І., Отрош, Ю. А., Рашкевич, Н. В. (12-13 жовтня 2022) *Критерії вибору способу вогнезахисту будівельних конструкцій* [Збірник праць]. Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення», Львів.
7. СОУ-Н ЕЕ 40.1-21677681-88:2013. Правила влаштування електроустановок. Пожежна безпека електроустановок. Інструкція (НАПБ В.01.056-2013/111). (2024, March 30). [https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=57908](https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=57908)
8. ДНАОП 1.1.10-1.07-01 Правила експлуатації електрозахисних засобів. Наказ від 05.06.2001 № 253. (2024, March 30). [https://budstandart.ua/normativ-document.html?id\\_doc=21830&minregion=76](https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=21830&minregion=76)
9. ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Наказ від 21.06.2001 № 272. (2024, March 30). [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=47257](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=47257)
10. Отрош, В. Ю., Рашкевич, Н. В. (2023). *Питання екологічної безпеки в містобудуванні* [Збірник праць]. Міжнародна науково-технічна конференція «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів: студент. й шкіл. секція», Харків, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова.
11. Степанко, А. С., Отрош, Ю. А., Кукузенко, А. М., Рашкевич, О. С., Рашкевич, Н. В., Gerolin, A. (12 жовтня 2022). Пожежна небезпека теплоізоляційних вогнезахисних матеріалів [Збірник праць]. Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми пожежної безпеки 2022» («Fire Safety Issues 2022»), Харків, НУЦЗУ.
12. Данченко, Ю. М., Качкар, Є. В., Рашкевич, Н. В. (2023). Дослідження впливу чинників на вогнестійкість перегородок із сендвіч-панелей. *Комунальне господарство міст*, 1 (175), 145–150.
13. Отрош, Ю. А., Ковальов, А. І., Рашкевич, Н. В., Тараненко, І. С. (2023). Оцінювання вогнестійкості будівлі із вогнезахисних залізобетонних будівельних конструкцій. *Комунальне господарство міст*, 3 (177), 134-141.
14. Отрош, Ю. А., Майборода, Р. І., Рашкевич, Н. В., Ромін, А. В. (2023). Дослідження методик розрахунку прогресуючого обвалення. *Механіка та математичні методи*, 2, 25-40. <https://doi.org/10.31650/2618-0650-2023-5-2-25-40>

Рашкевич, Н. В., Отрош, Ю. А. (30-31 травня 2024). *Вдосконалення системи протипожежного захисту трансформаторних підстанцій* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※

Rashkevich, N. V., Otrosh, Y. A. (2024, May 30-31). *Improving the fire protection system of transformer substations* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ В ДЕТАЛЯХ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

полімерні композиційні матеріали, вуглепластики, свердління, параметри якості, розшарування отворів, шорсткість, автоматизована система керування, нечіткий логічний контролер, режими свердління, осьова сила, продуктивність

*polymer composite materials, carbon fiber reinforced polymer, drilling, quality parameters, hole delamination, roughness, automated control system, fuzzy logic controller, drilling modes, thrust force, productivity*

### АВТОРИ

**Матошин Олександр Валерійович**, здобувач освітньо-наукового рівня магістра, НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

**Вислоух Сергій Петрович**, канд. техн. наук, доцент, НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

### АНОТАЦІЯ

В роботі розглянуто способи підвищення ефективності процесу свердління отворів у полімерних композиційних матеріалах, що дозволяє виконувати оброблення з максимальною продуктивністю із забезпеченням заданих параметрів якості отворів. Виконано огляд основних дефектів, що виникають при свердлінні композиційних матеріалів. Показана доцільність використання адаптивних систем керування режимами різання, у тому числі із застосуванням нечіткого логічного контролера.

### ABSTRACT

*Methods of increasing the efficiency of the process of drilling holes in polymer composite materials are considered in the work, which allows processing with maximum productivity while ensuring the specified parameters of the quality of the holes. An overview of the main defects that occur when drilling composite materials is performed. The expediency of using adaptive control systems for cutting modes, including the use of a fuzzy logic controller, is shown.*

Полімерні композиційні матеріали (КМ) набувають особливого поширення у різних галузях сучасної промисловості, що викликано високою міцністю цих матеріалів, жорсткістю, стійкістю до корозії, низьким коефіцієнтом теплового розширення, електроізоляційними властивостями та анізотропією властивостей, яка дозволяє встановлювати параметри кінцевого виробу шляхом зміни кількості волокон, їх орієнтації та типу укладення шару. Особливого поширення набули вуглепластики, тобто композиційні матеріали із вуглецевими волокнами та гнучкою матрицею з епоксидної смоли [1].

Більшість деталей із цих матеріалів виготовляється без подальшого механічного оброблення, однак для операцій складання

необхідно мати високоточні отвори для з'єднання деталей між собою в готовому виробі.

Процес свердління полімерних композиційних матеріалів зазвичай пов'язаний із різними дефектами, такими як: розшарування, підвищена шорсткість поверхонь отворів, сколи, усадка, незрізані волокна, задирки, термодеструкція матриці, некруглість тощо.

Підвищення ефективності процесу оброблення КМ пов'язане із використанням адаптивних систем керування режимами оброблення, робототехнічних комплексів і систем контролю параметрів якості та точності поверхонь деталей. При цьому сама методика використання таких систем нічим не відрізняється від автоматизації



технологічних процесів оброблення традиційних конструкційних матеріалів за винятком об'єкта автоматизації, тобто математичного моделювання процесу оброблення деталей з КМ.

Збільшення подачі та швидкості різання підвищує ефективність та продуктивність процесу оброблення, але при цьому знижується якість поверхні отвору. Низька якість отвору призводить до необхідності

двостадійного його оброблення різними інструментами [2].

Для усунення дефектів, що виникають при обробленні КМ, використовують спеціальні конструкції різальних інструментів та затискні пристосування, оптимізують їхню геометричну форму та технологічні режими процесу свердління [2]. Крім вибору інструмента та режимів різання, використовуються додаткові технологічні прийоми, що представлені в табл. 1.

Табл. 1. Шляхи підвищення ефективності процесу оброблення КМ [2]

Методи	Підходи
1. Оптимізація різального інструмента	Вибір інструментального матеріалу; оптимізація конструкції; оптимізація геометричних параметрів різальної частини.
2. Додаткові технологічні прийоми	Використання опорної пластини; система подачі МОР і різання без використання МОР; свердління напрямного отвору.
3. Нетрадиційні кінематичні схеми різання	Свердління з вібраціями; спіральне фрезерування; свердління з адаптивно керованою подачею; свердління з переривчастою подачею.
4. Нетрадиційні процеси оброблення	Лазерне різання; гідроабразивне різання; ультразвукове різання; електроерозійне різання.

Використання опорної пластини зі сторони виходу свердла збільшує значення критичної осьової сили, практично не змінюючи реальне значення осьової сили. Свердління напрямного отвору виконує аналогічну функцію. Цей отвір може бути виконаний як на окремому переході з використанням свердла меншого діаметра, так і на основному переході за допомогою ступінчастого свердла. При цьому діаметр напрямного отвору приймається як 10-20% діаметра основного отвору [2].

Термічний вплив на інструмент (його додаткове нагрівання та охолодження) дозволяє покращити оброблюваність КМ, підвищити якість оброблених поверхонь, продуктивність процесу оброблення та стійкість інструмента. Використання свердління з вібраціями дозволяє покращити процес дроблення стружки та її відведення, знижує температуру оброблення і осьову

силу, а також підвищує стійкість інструмента [2].

У роботі [1] представлено автоматизовану систему керування (АСК) режимами різання шляхом вимірювання значення сигналу осьової сили та непрямого оцінювання параметрів якості за значенням її величини. Таким чином, за запропонованими залежностями коефіцієнта розшарування та шорсткості поверхні обробленого отвору від осьової сили різання можна виконувати бездефектне оброблення шляхом корегування значень подачі свердла.

Ефективність традиційної системи керування процесом свердління можна підвищити, маніпулюючи параметрами запропонованої АСК на основі нечіткої логіки. Структурну схему системи керування з використанням нечіткого логічного контролера представлено на рис. 1.

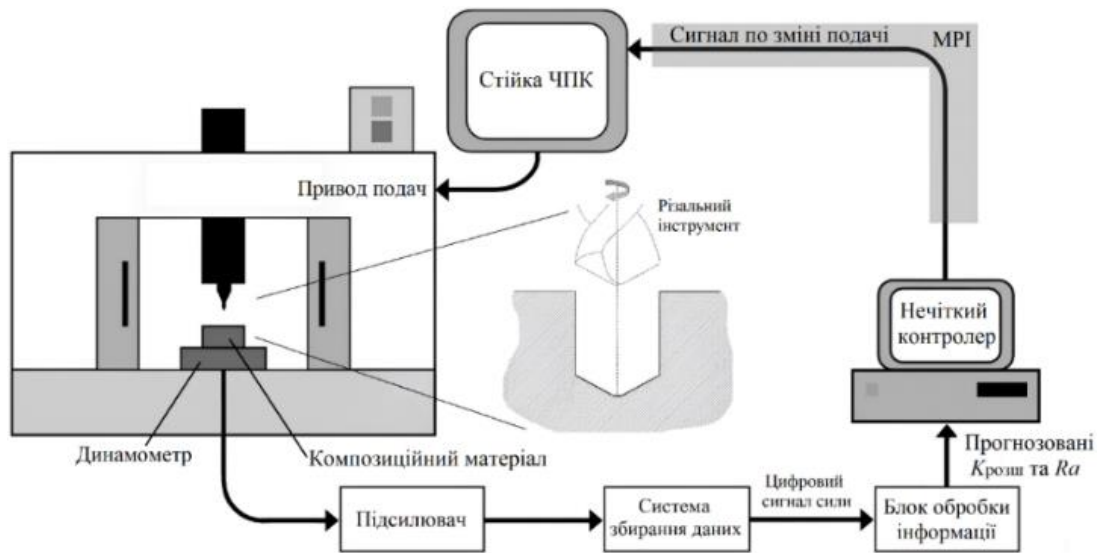


Рис. 1. Структурна схема АСК з використанням нечіткого логічного контролера

У наведеній структурній схемі (рис. 1) використовується багатоточковий інтерфейс MPI (Multi Point Interface). MPI – це програмний інтерфейс для контролерів серії Simatic S7, який відповідає протоколу PROFIBUS. Фізичний інтерфейс MPI ідентичний стандарту PROFIBUS RS485 [3]. За допомогою даної промислової мережі на стійку верстата з ЧПК поступає сигнал зміни значення подачі, що визначається за допомогою нечіткого логічного контролера.

Функціональну схему АСК з використанням нечіткого логічного контролера представлено на рис. 2. Контур вимірювання включає динамометр Kistler 9257B, підсилювач Kistler 5070A, а також відповідні апаратні та програмні модулі. В цій

системі осьова сила різання вимірюється за допомогою п'єзоелектричного динамометра Kistler 9257B, що встановлений між деталлю із КМ та столом верстата. Отриманий електричний сигнал напруги передається на чотириканальний підсилювач Kistler 5070A. Інтерфейсний апаратний модуль складається із з'єднувального блоку та 16-канальної плати збирання даних аналого-цифрового сигналу AT-MIO-16E-1 з максимальною частотою дискретизації 500 кГц. Цей АЦП перетворює аналоговий сигнал у цифровий формат, після чого модуль Simulink системи Matlab зчитує, обробляє та відображає отримані дані. Модуль Real-Time Windows Target (RTWT) реалізує моделі Simulink у реальному часі.

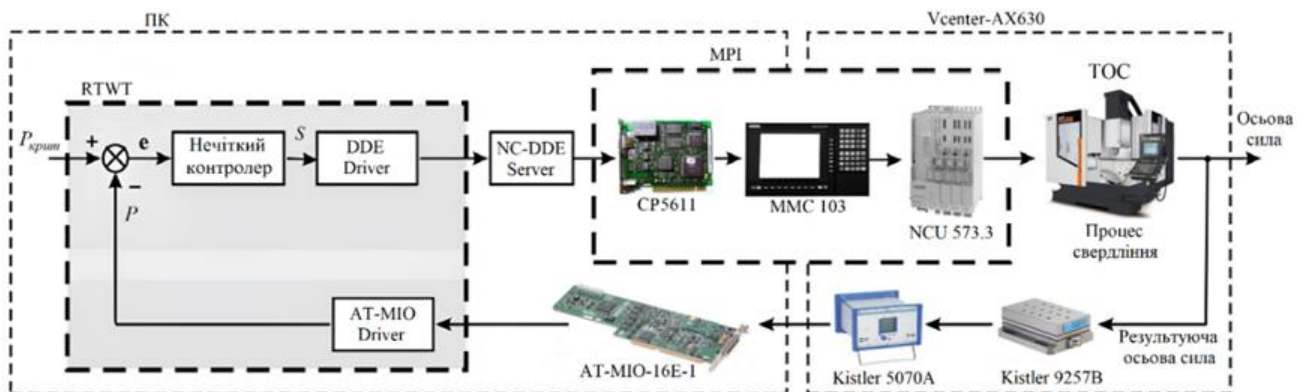


Рис. 2. Функціональна схема АСК з використанням нечіткого логічного контролера

За допомогою суматора визначається різниця між вимірним та критичним значенням осьової сили  $e = P_{крит} - P$ , що

поступає на вхід нечіткого логічного контролера. Вихід нечіткого контролера підключається до технологічної обробляючої

системи (ТОС) через багатоточковий інтерфейс (MPI) зі швидкістю передачі за замовчуванням 187,5 Кбіт/с [3]. При цьому плата CP5611 підключає ПК, за допомогою якого реалізується нечітке керування процесом свердління, до мережі MPI. Інтерфейс обміну повідомленнями MPI надсилає керуючі впливи на програмований логічний контролер (ПЛК) Siemens S7. При цьому система ЧПК верстата включає людино-машинний інтерфейс (ММС 103) та блок ЧПК (NCU 573.3). Таким чином сигнал вихідної результуючої осьової сили повертається до нечіткого логічного контролера через певний інтервал часу в залежності від встановленої частоти опитування динамометра. Драйвер доступу до служб динамічного обміну даними Windows (DDE Driver) використовується для забезпечення зв'язку з сервером динамічного

обміну даними (NC-DDE Server) на контролері ЧПК.

Таким чином, шляхом аналізу методів підвищення ефективності процесу оброблення деталей з композиційних матеріалів встановлено, що таким перспективним методом є використання адаптивних систем керування якістю оброблених поверхонь.

Застосування розробленого нечіткого логічного контролера в запропонованій АСК дозволяє розв'язати задачу керування процесом свердління з максимальною продуктивністю при забезпеченні заданих параметрів якості шляхом вимірювання осьової сили різання та подальшого корегування подачі свердла. Наведений спосіб реалізації АСК можна рекомендувати для керування процесом оброблення будь-яких КМ.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Матошин, О. В., & Вислоух, С. П. (2024). Система автоматизованого керування процесом свердління отворів у деталях з вуглепластику. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 35 (1), 237–244. doi:10.32782/2663-5941/2024.1.1/36.
2. Криворучко, Д. В., Залога, В. О., Колесник, В. О. (2013). *Механічна обробка композиційних матеріалів при складанні літальних апаратів (аналітичний огляд)*. Суми, Університетська книга.
3. Haber, R. E., Gajate, A., Liang, S. Y., Haber-Haber, R. & Toro, R. M. (2011). An optimal fuzzy controller for a high-performance drilling process implemented over an industrial network. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 7(3), 1481–1498.

Матошин, О. В., Вислоух, С. П. (30-31 травня 2024). *Метод підвищення ефективності процесу оброблення отворів в деталях з композиційних матеріалів* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Matoshyn, O. V., & Vysloukh, S. P. (2024, May 30-31). *A method for improving the efficiency of hole machining in composite parts* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО МЕТАЛОДЕТЕКТОРІВ ДЛЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ

гуманітарне розмінування,  
металодетектори, вимоги,  
вибухонебезпечні предмети.

humanitarian demining, metal  
detectors, requirements, explosive  
ordnance

### АВТОРИ

**Лапто Ірина Миколаївна**, канд. техн. наук, доцент, провід. наук. співробітник, Центр протимінної діяльності Державної спеціальної служби транспорту, м. Чернігів

**Чередніков Олег Миколайович**, канд. техн. наук, доцент, провід. наук. співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси

**Ляшенко Володимир Алімович**, канд. техн. наук, ст. дослідник, начальник науково-дослідної лабораторії, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

Гуманітарне розмінування є ключовим фактором у відновленні та розвитку постраждалих регіонів, дозволяючи безпечно повернути землі до мирного використання. Серед інструментів для проведення гуманітарного розмінування металодетектори (міношукачі) займають особливе місце як невід'ємна технологія пошуку та знешкодження мін і нерозірваних боєприпасів. Аналіз сучасних вимог до металодетекторів проведено з акцентом на їх технічні характеристики, надійність, безпеку та ефективність застосування.

### ABSTRACT

Humanitarian demining becomes a key factor in the recovery and development of affected regions, allowing land to be safely returned to peaceful use. Among the tools for humanitarian demining, metal detectors (mine detectors) occupy a special place as an integral technology for finding and disarming mines and unexploded ammunition. The analysis of modern requirements for metal detectors was carried out with an emphasis on their technical characteristics, reliability, safety and efficiency of use.

Незважаючи на значний прогрес у розробці металодетекторів, існує нагальна потреба для розв'язання складних завдань гуманітарного розмінування, у подальшому їх вдосконаленні, використанні робототехніки та штучного інтелекту, зокрема в умовах, де традиційні методи можуть бути неефективними або небезпечними

Аналіз сучасних вимог до металодетекторів, які використовуються в гуманітарному розмінуванні, необхідно проводити з акцентом на їх технічні характеристики, надійність, безпеку та ефективність їх застосування.

Актуальність теми гуманітарного розмінування та вимог до металодетекторів (міношукачів) в сучасному світі важко переоцінити. Серед інструментів для проведення гуманітарного розмінування металодетектори (міношукачі) займають

особливе місце. Вони є невід'ємною частиною процесу пошуку та знешкодження мін і нерозірваних боєприпасів. Гуманітарне розмінування стає ключовим фактором у відновленні та розвитку постраждалих регіонів, дозволяючи безпечно повернути землі до мирного використання [1, 3].

Для визначення місця знаходження окремих ППМ, ПТМ та об'єктних мін, а також авіабомб, що не вибухнули, артилерійських снарядів, мінометних мін та інших ВВП інженерні війська Збройних Сил України і підрозділи Державної служби надзвичайних ситуацій оснащені морально застарілими технічними засобами розробки ще радянських часів, а саме:

– індукційними і радіохвильовими міношукачами ІМП (рис. 1), ІМП-2 (ПР-507), МІВ (для водолазів-розвідників), РВМ-2М, РВМ-2 (ПР-504А) (рис. 2,а), ММП (ПР-505);



- магнітними шукачами МБІ-1, МБІ-2;
- бомбощукачами (шукачі феромагнітних тіл) ІМБ, ОГФ;
- для пошуку радіопідричників ІНМ (ПР-506).



**Рис. 1.** Індукційний міношукач напівпровідниковий в розібраному стані [2]



**Рис. 2.** Загальний вигляд міношукача RBM-2M в зібраному стані (а) та металодетектора GTI-2500 GARRETT (б) [2]

Наразі для виявлення вибухонебезпечних предметів (ВНП) переважно використовують фізичні методи: активне електромагнітне зондування приповерхневого шару ґрунту електромагнітними імпульсами і синусоїдальними полями (металощукачі (2-50) кГц, георадар (100-900) МГц), сейсмічною хвилею і нейтронним випромінюванням, реєстрація аномалій електропровідності і

щільності ґрунту, вимірювання інфрачервоного і гравітаційного полів та інші.

Найширше використовують гармонійні або імпульсні активні металодетектори, принцип дії яких засновано на реєстрації вторинного електромагнітного поля, що наводиться струмами Фуко в металевому тілі під дією первинного поля, що збуджується. Нині у світі на виготовленні таких приладів спеціалізуються понад 30 фірм, найвідомішими є CEIA (вироби MIL-D1, MIL-D1/DS, Італія), Vallon (VMC1, VMH2, VMH3, VMH3CS, VMM3, VMW1, Німеччина), Ebinger (EBEX-420, EBEX-535, Німеччина), Fisher (1235-X, 1266-XB, Німеччина), Minelab Electronics (FIA4, F3, F1A4, Австралія), Shibel Electronics (AN-19/2, ATMID, MIMID, Австрія), Geonics (EM61-Mk2, Канада), Guartel (MD4, MD8, MD2000, Велика Британія), Whites (AF-108, DI-PRO-5900, MXT-300, DFX-300, Spectrum-XLT, США), Garrett (GTAx-550, GTP-1350, GTI-2500, США).

Завдяки допомозі країн-донорів піротехнічні підрозділи отримали такі засоби виявлення ВНП, як глибинний металодетектор VALLON EL 1302D2 і металодетектор VMC1 (Німеччина); підводний металодетектор PULSE 8X, металодетектор GARRETT, металодетектор GARRETT GTI 2500 (США); металодетектор CMD (Італія) та ін. [2].

Спотворення природного магнітного поля землі феромагнітним об'єктом призводить до перекосу електрорушійних сил в сенсорах та, в решті решт, до збільшення вихідної напруги, яка використовується для керування візуальними і акустичними сигналами [5].

Незважаючи на те, що випробування на стійкість до впливу зовнішніх факторів не є ключовими, однією з вимог до металодетекторів є стійкість до зовнішніх впливів та можливість легкого транспортування. В ідеалі металодетектор має бути вологозахисний, що гарантує його роботу практично за будь-яких умов.

В табл. 1 наведено порівняльні характеристики найбільш розповсюджених металодетекторів.



Табл.1. Порівняння основних характеристик металодетекторів

№ з/п	Маркування міношукачів (металодетекторів)	Глибина виявлення, см ППМ / ПТМ	Ширина зони пошуку, см	Вага, кг	Темп пошуку, м <sup>2</sup> /год в положенні стоячи/лежачи	Час безперервної роботи на 1 джерелі, год
1	ІМП-2	до 15/до 50	до 60	2,00	300/150	до 40
2	Багатоканальний міношукач ММП	до 7/до 50	до 20	4,70	150/70	до 20
3	Міношукач РВМ-2М	до 10/до 20	до 20	2,50	140/75	до 60
4	Металодетектор GTI-2500 GARRETT	до 40 з насадкою; великі ВНП до 300	до 30	2,10	300/150	до 30
5	Металодетектор EL1302D2 VALLON	до 50	до 60	2,10	300/150	до 25
6	Металодетектор CEIA CMD	до 50 з насадкою; великі ВНП до 300	до 30	1,98	300/150	до 8

Вимоги щодо електромагнітної сумісності для радіообладнання та методи випробування регламентуються наступними національними нормативними документами, які гармонізовані з міжнародними та європейськими [3,4,6].

ДСТУ ETSI EN 300 330:2018 (ETSI EN 300 330:2017, IDT) Радіообладнання малого радіуса дії. Радіообладнання смуги частот від 9 кГц до 25 МГц та індуктивні контурні системи смуги частот від 9 кГц до 30 МГц. Технічні вимоги та методи випробування;

ДСТУ ETSI EN 301 489-1:2019 (ETSI EN 301 489-1 V1.9.2. (2011-09), IDT) Електромагнітна сумісність та радіочастотний спектр. Електромагнітна сумісність радіообладнання та радіослужб. Частина 1. Загальні технічні вимоги;

ДСТУ ETSI EN 300 328:2017 (ETSI EN 300 328:2016, IDT) Системи з радіодоступом діапазону частот 2,4 ГГц. Технічні вимоги та методи випробування;

ДСТУ EN 55011:2019 (EN 55011:2009, 2009; CISPR 11:2009, MOD) / Зміна № 1:2009 (EN 55011:2016/A1:2017, IDT; CISPR 11:2009/F1:2010, IDT) Обладнання промислове, наукове та медичне радіочастотне. Характеристики електромагнітних завод. Норми та методи вимірювання;

ДСТУ EN 61000-6-2:2018 (EN 61000-6-2:2005, AC:2005, IDT; IEC 61000-6-2:2005, IDT) Електромагнітна сумісність. Частина 6-

2. Загальні стандарти. Несприйнятливість обладнання в промислових середовищах;

ДСТУ EN 61000-4-2:2018 (EN 61000-4-2:2009, IDT; IEC 61000-4-2:2008, IDT) Електромагнітна сумісність. Частина 4-2. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до електростатичних розрядів;

ДСТУ EN 61000-4-3:2019 (EN 61000-4-3:2006, IDT; IEC 61000-4-3:2006, IDT) Електромагнітна сумісність. Частина 4-3. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до радіочастотних електромагнітних полів випромінювання;

ДСТУ EN 60950-1:2015 (EN 60950-1:2006, A11:2019, A1:2010; A12:2011; AC:2011; A2:2013, IDT) Частина 1. Загальні вимоги;

ДСТУ EN 61326-1:2016 (EN 61326-1:2013, IDT) Електричне обладнання для вимірювання, контролю та лабораторного застосування. Вимоги до електромагнітної сумісності. Частина 1. Загальні вимоги.

Отже, вимоги до металодетекторів (міношукачів) на основі проведеного аналізу можна сформулювати наступним чином:

– котушка металодетектора повинна забезпечувати збільшені поверхні сканування.

– забезпечення глибину виявлення ВНП не менше 15 см;

– здатність виявляти різні типи металевих предметів різного розміру (в тому числі з мінімальним вмістом металу) на максимальній глибині виявлення в умовах різного стану ґрунту;  
 – здатність компенсувати магнітні перешкоди від ґрунту;  
 – здатність зберігати чутливість на протязі всього терміну використання батарейки;

– здатність відповідати ергономічним вимогам, вимогам достатності запасів міцності та вимогам з уніфікації.

Подальші дослідження та розвиток у цій галузі необхідні для вирішення існуючих та майбутніх викликів, що стоять перед гуманітарним розмінуванням на шляху до створення безпечнішого світу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горбулін, В. П. (2022). Світова глобальна проблема розмінування: український вектор. *Вісник НАН України*, 2, 3-10.
2. Металодетектори для гуманітарного розмінування. (12 квітня 2024). [https://www.academia.edu/32745597/Metal\\_Detectors\\_for\\_Humanitarian\\_Demining\\_from\\_Basic\\_Principles\\_to\\_Modern\\_Tools\\_and\\_Advanced\\_Develop](https://www.academia.edu/32745597/Metal_Detectors_for_Humanitarian_Demining_from_Basic_Principles_to_Modern_Tools_and_Advanced_Develop).
3. Про протимінну діяльність в Україні: Закон України від 06.12.2018 р. № 2642-VIII. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*, 2019, № 6, ст. 39) (із змінами, внесеними згідно із Законами № 2706-VIII від 25.04.2019, ВВР, 2019, № 22, ст. 82; № 911-IX від 17.09.2020). (12 квітня 2024). <https://zakon.rada.gov.ua>.
4. *Протимінна діяльність. Процеси управління. Основні положення*: ДСТУ 8820:2023 – На заміну ДСТУ-П 8820:2018; чинний з 2023-04-01. Київ, ДП “УкрНДНЦ” (2022).
5. Барбашин, В. В., Назаров, О. О., Рютін, В. В., Толкунов, І. О. (2010). *Основи організації піротехнічних робіт*, Харків.
6. *Інженерно-технічне забезпечення. Тактико-технічні вимоги до засобів подолання мінно-вибухових загороджень*: ВСТ 01.205.005 (Видання 1) (MIL-PRF-53090B, Blade, Mine Clearing, MOD). [Чинний з 2020-12-01], Київ, Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації (2020).

Лаппо І. М., Чередніков, О. М., Ляшенко, В. А. (30-31 травня 2024). *Сучасні вимоги до металодетекторів для гуманітарного розмінування* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Lappo I. M., Cherednikov O. M., & Lyashenko V. A. (2024, May 30-31). *Modern requirements for metal detectors for humanitarian demining* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## МЕТОДИКА ПОБУДОВИ КВАЛІМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДО ПІДГОТОВКИ ТА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

*озброєння та військова техніка, моделі інформаційно-вимірювальної системи, метод аналізу ієрархії, інформаційно-вимірювальна система.*

*weapons and military equipment, models of information and measurement system, hierarchy analysis method, information and measurement system*

### АВТОРИ

*Потапов Олександр Іванович, ст. наук. співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*

*Дробот Ольга Анатоліївна, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, заступник начальника, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки з сертифікації, м. Черкаси*

*Тертишник Євген Михайлович, ст. наук. співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки з сертифікації, м. Черкаси*

### АНОТАЦІЯ

*Проблематика доповіді стосується вибору інформаційно-випробувального обладнання або системи, яка з мінімальною похибкою і високою ефективністю буде застосовано для планування та проведення випробувань. Актуальністю роботи є розгляд етапів побудови кваліметричної моделі інформаційно-вимірювальної системи в складних умовах воєнно-політичної обстановки на Сході України. Метою роботи є розробка технологічних аспектів кваліметричного моделювання, а також етапів експертизи кваліметричної моделі.*

### ABSTRACT

*The issue of the report concerns the selection of information and testing equipment or a system that will be used for planning and conducting tests with minimal error and high efficiency. The relevance of the work is the consideration of the stages of building a qualitative model of the information and measurement system in the difficult conditions of the military and political situation in the East of Ukraine. The purpose of the work is to develop the technological aspects of qualitative modeling, as well as the stages of qualitative model examination..*

При проведенні випробувань кожне вимірювання не обходиться без допустимих (визначених) похибок. Вирішення задачі обрання інформаційно-вимірювальної системи та вимірювальних параметрів для проведення випробувань (підготовки фахівців) передбачає відповідність її якісних характеристик вимогам випробувань.

Так, при обранні складових інформаційно-вимірювальної системи та визначення кваліметричної моделі вимірювань, можливо поділити на декілька етапів, а саме:

1. Етап моделювання;
2. Етап проектування;
3. Етап реалізації;
4. Етап Інтерпретації.

На цих етапах виконується:

- обрання параметрів реєстрації озброєння та військової техніки при плануванні випробувань;
- визначення обмежень, щодо їх вимірювань (за часом випробувань, за точністю вимірювань, за вартістю, за персоналом, за місцем випробувань та іншим показником);
- розгляд окремого параметру за визначеними обмеженням (ризики для людей, кваліфікація персоналу);
- аналіз сукупності обмежень та обрання методики вимірювань;
- визначення по кожній методиці похибки вимірювань ( $a_1, a_2, a_3 \dots v_1, v_2, v_3, \dots$ )
- створення так званої „лінійка вимірювань“, що і є кваліметричною моделлю;
- створення (побудова) кожним експертом (А, В, С, В, Р ...) кваліметричною моделлю

вимірювання (для окремого завдання окремо);

- аналіз похибки вимірювань з об'єднанням по напрямку точності похибки та важливості випробувань зі створенням кваліметричної моделлю вимірювання для різних сценаріїв випробувань (КМ1, КМ2, КМ3.....) – що і є критерієм ефективності.

На етапі визначення обмежень слід враховувати за яким поділом проводяться випробування, а саме:

- за призначенням;
- за рівнем проведення випробувань;
- за етапами розроблення продукції;
- за випробуванням готової продукції;
- за умовами та місцем проведення;
- за тривалістю випробувань;
- за видом дії;
- за результатом дії;
- за характеристикою об'єкта. Що визначається.

За результатами вищенаведених етапів визначення кваліметричною моделлю випробувань проводиться експертиза:

- прогнозування ефективності кваліметричної моделі;
- обробка даних результатів вимірювань;
- отримання ефективність моделі вимірювань;
- занесення результатів до бази даних (архів).

Таким чином, для кількісного оцінювання ступеню пристосованості інформаційно-вимірювальної системи (вимірювальних параметрів) до забезпечення проведення випробувань використовується критерій ефективності кваліметричної моделі, який складається з  $KM1...KMn$  експертів ( $A+B+C=KM1, B+P+C=KM2, \dots$ ).

Так до критерію ефективності кваліметричної моделі можна віднести:

- мінімальна похибка –  $\epsilon$ ;
- вартість обладнання –  $C$ ;
- ресурс обладнання –  $R$ ;
- та інші визначені вагомими показниками і характеристики.

Ці показники, у свою чергу, і є функцією характеристик вимірювальних параметрів, наближений вид якої, як відомо, зветься кваліметричною моделлю інформаційно-вимірювальної системи.

Найбільш придатним методичним підходом для побудови кваліметричної моделі інформаційно-вимірювальної системи є той, що базується на використанні добре перевіреного практикою методу аналізу ієрархій.

Дана методика використовується експертне оцінювання на основі методу аналізу ієрархій та передбачає декілька етапів.

На початковому етапі оцінювання на основі методу аналізу ієрархій визначається перелік параметрів інформаційно-вимірювальної системи, що формує факторний простір кваліметричної моделі. Для цього аналізується архів інформаційно-вимірювальної системи в цілому та окремі параметри вимірювань (реєстрації). Виявляються характеристики (вимоги) до інформаційно-вимірювальної системи, що безпосередньо мають вагомий прояв при проведенні випробувань (реєстрації) та здійснюється побудова ієрархічної структури показників інформаційно-вимірювальної системи. Аналізується архів або будується новий перелік показників інформаційно-вимірювальної системи, в залежності від критерію оцінювання.

У подальшому, проводиться обробка даних експертного опитування та визначається ваговий коефіцієнт кваліметричної моделі властивостей інформаційно-вимірювальної системи.

Наявність запропонованої методики дозволяє здійснювати побудову кваліметричної моделі властивостей інформаційно-вимірювальної системи для будь-якого виду випробувань (в напрямку обрання вагомими критеріїв (параметрів, що реєструються) у інформаційно-вимірювальної системи інформаційно-вимірювальної системи в залежності від типу



озброєння та військової техніки, частоти опитування параметрів та багато інших визначених обмежень).

Подальші дослідження необхідно зосередити на вивченні інформаційно-вимірювальної системи та її трансформації у Збройних силах держав НАТО для врахування під час удосконалення (реформування) Збройних сил України в умовах складної воєнно-політичної обстановки на Сході України.

Висновок. Таким чином проведений аналіз етапів методики побудови кваліметричної моделі високотехнологічної інформаційно-вимірювальної системи до підготовки до випробувань дає змогу дійти до наступних висновків:

- отримати вихідні дані (параметри);
- експертним методом роздільнювати вагомі показники (параметри) за їх важливістю;
- оцінити державні та іноземні вимоги до системи для подальшої роботи;

– оцінити та обрати напрямом за показником (фактором) ціни та тривалості виконання робіт або іншими показниками;

– надати рекомендації, щодо прийняття рішення щодо побудови кваліметричної моделі властивостей інформаційно-вимірювальної системи;

– дозволить вдосконалити (застосовувати) процес проведення випробувань високотехнологічного озброєння та військової техніки;

– дозволить застосовувати бази даних кваліметричної моделі для зменшення часу підготовки до проведення випробувань високотехнологічного озброєння та військової техніки;

– дозволить розширити напрями щодо пошуку нових особливостей та надання рекомендацій у подальшому процесі випробувань.

Потапов, О.І., Дробот, О.А., Тертишнік, Є.М. (30-31 травня 2024). *Методика побудови кваліметричної моделі високотехнологічної інформаційно-вимірювальної системи до підготовки та проведення випробувань* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※

Potapov, O.I., Drobot, O.A., & Tertyshnik, E.M. (2024, May 30-31). *Methods of building a qualimetric model of a high-tech information and measuring system for the preparation and conduct of tests* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ГАЛУЗІ КРИМІНАЛІСТИКИ ТА СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

судовий експерт, штучний інтелект, цифрові технології, алгоритм, чат-бот, інструмент

forensic expert, artificial intelligence, digital technologies, algorithm, chatbot, tool

### АВТОРИ

**Кожевніков Валерій Вікторович**, завідувач відділу криміналістичних видів досліджень, Черкаський науково-дослідний експертно криміналістичний центр МВС України, м. Черкаси

**Аксьонов Василь Васильович**, директор, Черкаський науково-дослідний експертно криміналістичний центр МВС України, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

В доповіді представлено можливості використання цифрових технологій з елементами штучного інтелекту в правоохоронній діяльності, у тому числі й криміналістиці. Також продемонстрована спроба використання інструменту штучного інтелекту на прикладі прототипу чат-боту ChatGPT американської компанії OpenAI для вирішення питання, яке вирішує судовий експерт за напрямком дактилоскопічної експертизи. За результатами дослідження визначено важливість впровадження штучного інтелекту та цифрових технологій у розвитку криміналістики та судової експертизи.

### ABSTRACT

The report presents the possibilities of using digital technologies with elements of artificial intelligence in law enforcement activities, including forensics. Also demonstrated is an attempt to use an artificial intelligence tool on the example of the chatbot ChatGPT prototype of the American company OpenAI to solve a question that is solved by a forensic expert in the direction of dactyloscopic examination. According to the results of the study, the importance of the implementation of artificial intelligence and digital technologies in the development of criminology and forensic examination was determined.

Завдяки розвитку інформаційних технологій і активній цифровізації суспільства початок XXI ст. нерідко називають епоєю інновацій, одним із найбільш актуальних і значущих досягнень якої став штучний інтелект (англ. Artificial intelligence) [1].

Штучний інтелект – це галузь комп'ютерних наук, яка фокусується на розробці машин і систем, здатних виконувати завдання, що зазвичай вимагають людського інтелекту, такі як навчання, розв'язання проблем і прийняття рішень. В основі ШІ лежить ідея створення машин, які можуть мислити й міркувати, як люди, і можуть вчитися на власному досвіді, щоб з часом покращувати свою продуктивність.

Простими словами, штучний інтелект – це здатність машин виконувати завдання, які зазвичай вимагають людського інтелекту, такі як візуальне сприйняття, розпізнавання мови, прийняття рішень і мовний переклад. Це означає, що системи штучного інтелекту можуть аналізувати дані, навчатися на них і

робити прогнози або приймати рішення на основі цього навчання, що дозволяє машинам виконувати завдання з більшою точністю, швидкістю та ефективністю, ніж люди [2].

На сьогодні можливо спостерігати активне використання інформаційних технологій у різних сферах життєдіяльності людини – це і бортові комп'ютерні системи в транспорті, це і безліч послуг, у тому числі й банківських, які можливо використовувати через смартфон, який ідентифікує власника через відбиток пальця руки чи по зображенню обличчя, сітківки ока тощо, а камери спостереження на вулицях та банкоматах успішно ідентифікують злочинців. Усе це далеко не вичерпний список використання штучного інтелекту як допоміжного інструменту для виконання працівникам чи службовцям у різних сферах різноманітних складних завдань.

В правоохоронній діяльності в Україні для боротьби із злочинністю, чи попередженню правопорушень останнім часом широко використовуються технології штучного інтелекту.

Це й встановлення осіб завдяки розпізнаванню обличчя за соціальними мережами та записами камер відеоспостереження, це й фіксація порушень правил дорожнього руху, створення та впровадження різноманітних продуктів інформаційно-аналітичного та інформаційно-довідкового забезпечення правоохоронної діяльності [3].

У сучасних реаліях досить актуальним є комплексний підхід у дослідженні проблем створення та застосування інноваційних засобів, прийомів та методів у різних видах судочинства (кримінального, адміністративного, цивільного, господарського), у різних видах юридичних практик (слідчій, судовій, експертній, адвокатській, прокурорській та ін.) та в окремих напрямках людської діяльності, з одного боку, у злочинній, з іншого – у діяльності органів правопорядку та суду у сфері протидії злочинності [4].

Використання систем штучного інтелекту правоохоронними та судовими органами здатне забезпечити якісне оновлення їх діяльності. У зарубіжних країнах до практики правоохоронних органів впроваджені проекти, пов'язані із класифікацією та розпізнаванням об'єктів, розпізнаванням звукових сигналів (мови або, наприклад, системи визначення пострілів). Запропоновані технічні рішення для аналізу великих обсягів даних на основі алгоритмів машинного навчання. У такий спосіб здійснюється аналіз відомостей про телефонні або інтернет-з'єднання, про використання платіжних систем тощо. Подібні рішення використовуються як потужні інструменти розслідування злочинів. Розробляються системи прогнозування злочинності та оцінки ризику індивідуальної проти-правної поведінки на основі штучного інтелекту [5].

Так, для формування та ведення криміналістичних обліків були створені та успішно функціонують автоматизовані ідентифікаційні дактилоскопічні, трасологічні, балістичні системи такі як «ДАКТО-200», «TrasoScan», «BalScan» та інші, де застосовуються програми й алгоритми, створені елементами штучного інтелекту.

Сьогодні у науковій літературі та в реальній практиці все частіше висловлюється думка про можливість замінити людину на машину. Технології III стрімко розвиваються, що ще більше актуалізує питання заміни таким аналізом криміналістичних експертиз, проведених людиною.

В подальшому розробники перейшли від програмного забезпечення та машинних алгоритмів до створення таких інструментів, які зможуть ще більше полегшити життя людей – написання текстів, створення малюнків, відео, субтитрів, пошук в Інтернеті, допомога в роботі на навчанні.

Одним із таких інструментів є прототип ChatGPT, що являє собою бот зі штучним інтелектом, розроблений американською компанією OpenAI на основі нейромереж та машинного навчання. Чат-бот здійснює комунікацію, імітуючи мову людини та розуміє контекст у спілкуванні на основі мовних моделей, які створені для обробки природної мови, та навчається за допомогою використання великих обсягів даних [6].

Вже через 2 місяці після випуску кількість користувачів чат-бота перетнула планку 100 млн. На сьогоднішній день, на вдосконалених версіях чату вже успішно працюють люди таких професій, як журналісти, перекладачі, програмісти, аналітики та безліч студентів та науковців, для яких програма пише сайти, реферати, контрольні та інші наукові роботи.

Задля експерименту, з метою встановлення можливості використання таких інструментів при проведенні криміналістичної експертизи, чат-боту ChatGPT спробували двічі задавати прості запитання, які слідчий ставить судовому експерту в постанові про призначення дактилоскопічної експертизи, наприклад про придатність сліду пальця руки для ідентифікації.

У відповідях, наданих чат-ботом, міститься суто теоретична інформація з галузі судової дактилоскопії, з наголошенням на наступне: – мовна модель штучного інтелекту не має можливості аналізувати конкретні сліди пальців рук;

– визначення придатності для ідентифікації конкретного сліду пальця руки можливе лише в межах висновку експерта, проведеного кваліфікованим судовим експертом в офіційній криміналістичній лабораторії.

Такі відповіді штучного інтелекту були прогнозовані, адже особа, яка має кваліфікацію судового експерта, під час проведення експертного дослідження використовує не лише теоретичні знання в тій чи іншій галузі (в даному випадку в дактилоскопії), яка в електронній формі є загально-доступною (чим і скористався чат-бот).

Досліджуючи ті чи інші об'єкти, експерт застосовує формально-логічні методи пізнання, загальні, загально-наукові та спеціальні методи дослідження [7], в

сукупності із спеціальними знаннями та опираючись на певний досвід роботи та сформоване внутрішнє переконання.

Отже, використання штучного інтелекту та широке впровадження цифрових технологій безперечно є невід'ємним атрибутом розвитку криміналістики та судової експертизи на сучасному етапі, проте не варто перебільшувати потенціал і переваги штучного інтелекту. Станом на сьогодні технології штучного інтелекту не можуть замінити кваліфікованих криміналістів, у т.ч. судових експертів, однак можуть надати їм високотехнологічну допомогу та оптимізувати процес їх мислення, звільняючи його від необхідності відволікатись на пошук методичних посібників, довідників чи іншої інформації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Pylypchuk, V. H., Baranov, O. A., & Hylyaka O. S. (2022). Problema pravovoho rehulyuvannya u sferi shtuchnoho intelektu v konteksti rozvytku zakonodavstva Yevropeys'koho Soyuzu. *Visnyk Natsional'noyi akademiyi pravovykh nauk Ukrainy*, 29 (2), 35-62. [in Ukrainian]
2. Штучний інтелект (ШІ) – що це таке, як працює і навіщо потрібен. (18 квітня 2024). <https://termin.in.ua/shtuchnyy-intelekt/>.
3. Kovtun, V. O., & Rvachov, O. M. (2020). *Ohlyad ta perspektyvy vykorystannya tekhnolohiy shtuchnoho intelektu v pravoohoronniy diyal'nosti. Vykorystannya tekhnolohiy shtuchnoho intelektu u protydyi zlochynnosti* [Paper presentation]. Nauk.-prakt. onlayn-seminar, Kharkiv: Pravo. [in Ukrainian]
4. Shevchuk, V.M. (2020). *Perspektyvy zaprovadzhennya tekhnolohiy shtuchnoho intelektu u sudovu diyal'nist' v suchasnykh umovakh. Vykorystannya tekhnolohiy shtuchnoho intelektu u protydyi zlochynnosti* [Paper presentation]. Nauk.-prakt. onlayn-seminar, Kharkiv: Pravo. [in Ukrainian]
5. Karchevs'kyu, M.V. (2020). *Shtuchnyy intelekt ta protydiya zlochynnosti. Vykorystannya tekhnolohiy shtuchnoho intelektu u protydyi zlochynnosti* [Paper presentation]. Nauk.-prakt. onlayn-seminar, Kharkiv: Pravo. [in Ukrainian]
6. Чат GPT для науковців — можливості та практичне використання (18 квітня 2024). <https://statti.in.ua/chat-gpt-dlya-naukovciv-mozhlyvosti-ta-praktichne-vikoristannya/>.
7. Про затвердження Інструкції з організації проведення та оформлення експертних проваджень у підрозділах Експертної служби Міністерства внутрішніх справ України (18 квітня 2024). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1024-17#Text>.

Кожевніков, В.В., Аксьонов, В.В. (30-31 травня 2024). *Використання штучного інтелекту в галузі криміналістики та судової експертизи* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※

Kozhevnikov, V.V., & Aksenov, V.V. (2024, May 30-31). *The use of artificial intelligence in the field of criminalistics and forensics* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].



## ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ

температура, вимірювання,  
точність, спрощення конструкції,  
оптичне волокно.

temperature, measurement, accuracy,  
design simplification, optical fiber

### АВТОРИ

**Кошовий Микола Дмитрович**, д-р техн. наук, професор, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського, м. Харків

**Костенко Олена Михайлівна**, д-р техн. наук, професор, Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава

**Ковшар Наталія Євгенівна**, здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського, м. Харків

### АНОТАЦІЯ

В багатьох галузях науки, техніки та промисловості виникає задача вимірювання температури. Застосування волоконно-оптичних датчиків температури дає змогу спростити конструкцію пристрою, зменшити масогабаритні характеристики, підвищити чутливість та точність вимірювання температури, розширити функціональні можливості за рахунок отримання вихідної інформації в двійковому коді, забезпечити абсолютну іскро-, вибухо-, пожежобезпечність.

### ABSTRACT

In many areas of science, technology and industry, the problem of temperature measurement arises. The use of fiber-optic temperature sensors makes it possible to simplify the design of the device, reduce weight and size characteristics, increase the sensitivity and accuracy of temperature measurement, expand functionality by obtaining initial information in binary code, and ensure absolute spark, explosion, and fire safety.

Постановка проблеми. Широке застосування в промисловості знаходять інформаційно-вимірювальні системи фізичних величин з волоконно-оптичними перетворювачами. Проектування і розробка волоконно-оптичних датчиків температури пов'язані з проблемами спрощення їх конструкції, підвищення техніко-економічних показників та розширення функціональних можливостей.

Аналіз останніх джерел дослідження і публікацій. Відомий біметалевий датчик температури [1] має наступні недоліки: низька чутливість та точність вимірювання; складність та відносно велику вартість виготовлення пружини; відсутність абсолютної іскро-, вибухо-, пожежобезпечності. До недоліків волоконно-оптичного датчика температури та вологості [2] слід віднести складність конструкції, необхідність в спеціальній обробці відбиваючих поверхонь, вихідний сигнал отримують в аналоговому вигляді.

Мета дослідження. Розробити волоконно-оптичний датчик температури, що дозволяє

спростити його конструкцію, підвищити чутливість та точність вимірювання температури, отримувати вихідну інформацію в двійковому коді.

Основні матеріали дослідження. З метою спрощення конструкції пристрою, підвищення чутливості та точності вимірювання температури, отримання інформації в двійковому коді, у порівнянні з аналогами [1, 2], запропонований волоконно-оптичний датчик температури [3].

На рис. 1 приведена спрощена конструкція волоконно-оптичного датчика температури.

У корпусі 1 волоконно-оптичного датчика температури закріплена біметалева спіральна пружина 2, до вихідного торця якої під'єднана непрозора пластинка 3 із отвором 4, що має можливість переміщення по направляючому 5. Передавальні 6 та приймальні 7 оптичні волокна розміщені з протилежних сторін пластинки 3 один під одним в напрямку її переміщення і жорстко закріплені в корпусі 1. Перед вхідними торцями передавальних 6 оптичних волокон установлено джерело випромінювання 8, наприклад світлодіод

перед кожним оптичним волокном. Вихідні торці приймальних 7 оптичних волокон розкладаються в отвори волоконно-оптичного перетворювача 9 з метою

отримання інформації у двійковому коді. На рис. 1 представлений 4-х розрядний волоконно-оптичний перетворювач 9.

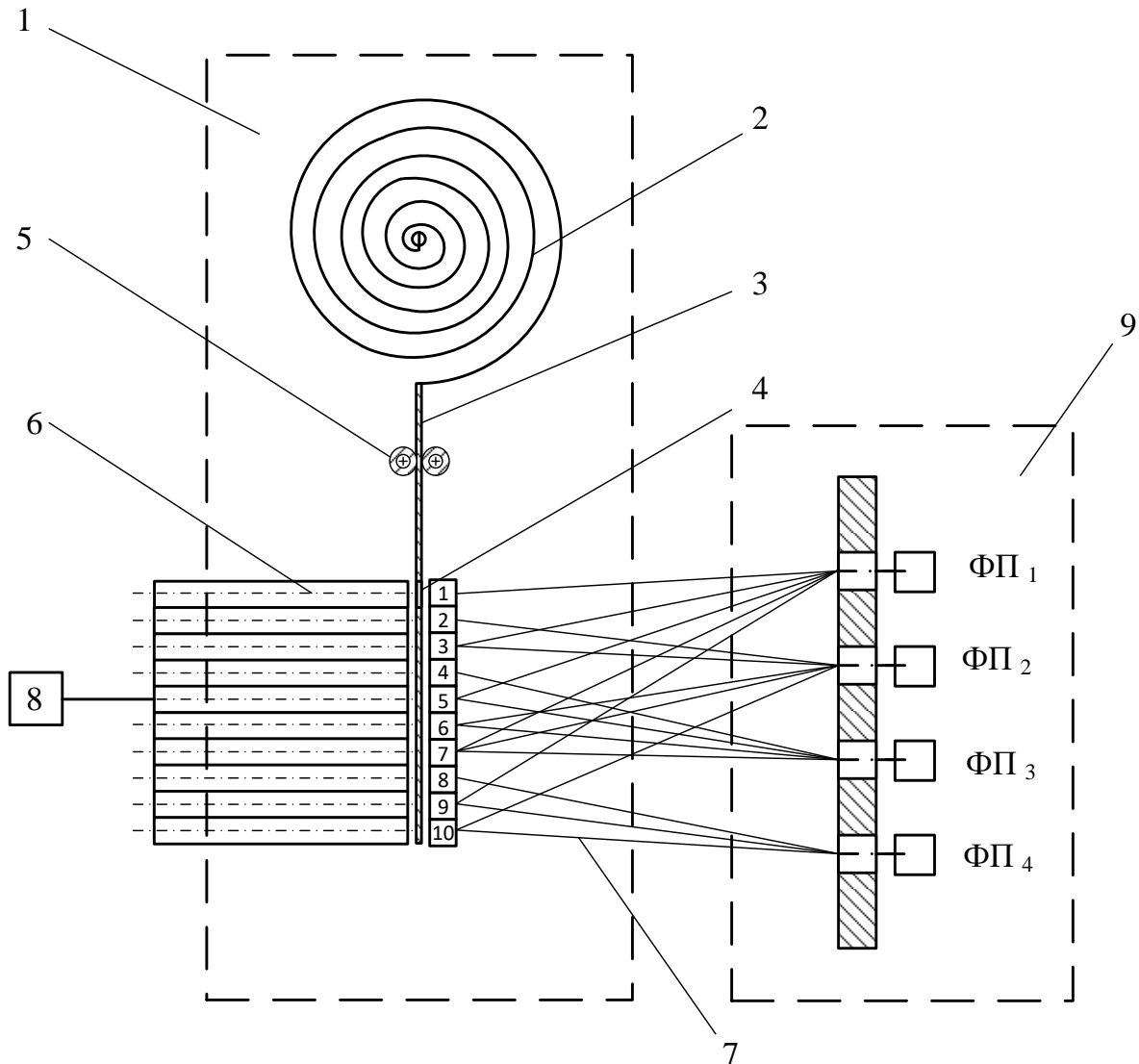


Рис. 1. Спрощена конструкція волоконно-оптичного датчика температури

Волоконно-оптичний датчик температури працює наступним чином.

При підвищенні температури в корпусі 1 датчика біметалева спіральна пружина 2 розкручується і непрозора пластинка 3 по направляючим 5 переміщується вниз, а при зменшенні температури біметалева спіральна пружина 2 закручується, що призводить до переміщення пластинки 3 вгору. При цьому отвір 4 пластинки 3 встановлюється навпроти відповідного вхідного торця приймальних 7 оптичних волокон. Світловий потік від джерела випромінювання 8 поступає по передавальному 6 оптичному волокну через

отвір 4 непрозорої пластинки 3 на відповідний вхідний торець приймальних 7 оптичних волокон та засвічує відповідні фотоприймачі (ФП1...ФП4) волоконно-оптичного перетворювача 9. На виходах фотоприймачів (ФП1...ФП4) формується двійковий код, який відповідає температурі, що вимірюється.

Висновки. Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик температури дозволяє спростити конструкцію, підвищити чутливість та точність вимірювання, отримувати вихідну інформацію в двійковому коді. Крім того, він має абсолютну іскро-, вибухо-, пожежобезпечність.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гусельніков, В.К., Гусельніков, О.В. (2010). Біметалевий датчик температури (Патент на корисну модель 55106 Україна).
2. Кошовий, М.Д., Дергачов, В.А., Кошова, І.І., Костенко, О.М., Беляєва, А.А. (2018). Волоконно-оптичний датчик для вимірювання вологості і температури (Патент на корисну модель 122987 Україна).
3. Кошовий, М.Д., Костенко, О.М., Кураксін, Д.В., Бичков, А.В., Ковшар, Н.Є., Світличний О.В. (2023). Волоконно-оптичний датчик температури (Патент на корисну модель 155266 Україна).

Кошовий, М.Д., Костенко, О.М., Ковшар, Н.Є. (30-31 травня 2024). *Волоконно-оптичний датчик температури* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Koshoviy, M.D., Kostenko, O.M., & Kovshar, N.E. (2024, May 30-31). *Fibre optic temperature sensor* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕСТУВАННЯ REST API

автоматизоване тестування, ШІ, оптимізація процесів тестування, java, тестування та виявлення дефектів, TensorFlow, TestNG, Allure.

automated testing, AI, testing process optimization, Java, testing and defect detection, Tensorflow, Testng, Allure

### АВТОР

*Гуральник Фредерік Борисович, здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця*

### АНОТАЦІЯ

*Дослідження спрямоване на розробку інтелектуальних алгоритмів для виявлення дефектів у програмному забезпеченні. Використання штучного інтелекту та методів машинного навчання, таких як нейронні мережі, надасть нові можливості для автоматизації процесу виявлення дефектів та підвищення надійності програмного забезпечення.*

### ABSTRACT

*The research focuses on developing intelligent algorithms for defect detection in software. Utilizing artificial intelligence and machine learning methods, such as neural networks, will provide new possibilities for automating the defect detection process and enhancing software reliability.*

У сучасному світі, програмне забезпечення є невід'ємною частиною нашого повсякденного життя, а його надійність та якість вирішальні для успішної експлуатації. Незважаючи на те, що програми можуть бути написані з високою якістю, дефекти в коді все ж можуть спричинити серйозні наслідки, такі як помилки в роботі програми, вразливості безпеки та неефективне функціонування.

З ростом розміру та складності програмного забезпечення, тестування та виявлення дефектів стає все складнішим завданням. Традиційні методи тестування, хоча корисні, вимагають значних зусиль та часових витрат. Отже, актуальним напрямком досліджень є розробка інтелектуальних алгоритмів, які можуть автоматично виявляти дефекти у програмному забезпеченні.

Мета даного дослідження полягає в дослідженні шляхів розробки інтелектуальних алгоритмів для виявлення дефектів у програмному забезпеченні та порівнянні існуючих інструментів. Використання штучного інтелекту та методів машинного навчання, таких як нейронні мережі та інші, надасть нові можливості для автоматизації процесу виявлення дефектів, зменшення кількості помилок та підвищення надійності програмного забезпечення.

У рамках дослідження передбачається аналіз існуючих методів виявлення дефектів, розробка нових інтелектуальних алгоритмів та порівняння їх ефективності. Також планується проведення експериментальних досліджень для оцінки розроблених алгоритмів.

Результати дослідження. Використання штучного інтелекту (ШІ) в автоматизації тестування REST API та аналізі логів має великий потенціал для покращення ефективності та якості процесу тестування програмного забезпечення. Застосування ШІ дозволяє автоматизувати виконання тестових сценаріїв, аналізувати великі обсяги даних з логів та забезпечувати широкі можливості аналізу, що призводить до підвищення ефективності, точності та надійності процесу тестування.

Одним із потенційних інструментів штучного інтелекту, який можна використати для аналізу REST API та логів, є бібліотека TensorFlow. TensorFlow є потужним фреймворком для машинного навчання і глибокого навчання, який надає широкі можливості для розробки моделей, навчання на великих обсягах даних та аналізу результатів.

Використання TensorFlow у контексті тестування REST API та аналізу логів може включати такі кроки:



Підготовка даних. Збір та підготовка даних з логів для подальшого аналізу. Це може включати очищення, нормалізацію та перетворення даних в формат, придатний для використання з моделями TensorFlow.

Розробка моделі. Використовуючи TensorFlow, розробіть модель машинного навчання для аналізу даних. Наприклад, можна навчити модель розпізнавати типові помилки або виявляти аномалії в REST API логах.

Навчання моделі. Використовується навчальний набір даних для навчання моделі TensorFlow. Модель буде вчитися на основі цих даних та шукати шаблони та залежності для подальшого аналізу.

Аналіз та валідація. Після навчання моделі її використовують для аналізу нових даних з REST API та логів. Для оцінки результатів аналізу та визначення точності та ефективності моделі.

Використання TensorFlow у поєднанні з іншими зручними інструментами, такими як RestAssured, Log4j, TestNG та Allure, може допомогти в автоматизації тестування REST API, зборі та аналізі логів, а також

забезпечити зручність та ефективність управління тестовими сценаріями та аналізу результатів.

Висновок. Використання штучного інтелекту (ШІ) у тестуванні REST API та аналізі логів з використанням TensorFlow дозволяє автоматизувати виконання тестових сценаріїв, аналізувати великі обсяги даних з логів та забезпечувати точність та надійність процесу тестування програмного забезпечення. З використанням TensorFlow можна розробити моделі машинного навчання, які виявлятимуть помилки та аномалії в REST API логах, що допоможе виявляти потенційні проблеми з безпекою та функціональністю. Застосування TensorFlow разом з іншими зручними інструментами, такими як RestAssured, Log4j, TestNG та Allure, сприяє автоматизації та зручному управлінню тестовими сценаріями, аналізу результатів та покращенню ефективності процесу тестування. Це дозволяє команді розробників та тестувальників зосередитись на критичних аспектах тестування, прискорює виявлення помилок та поліпшує якість програмного забезпечення.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Glenford, J. M., Badgett, T., Sandler, C. (2012). *The Art of Software Testing*. Hoboken, NJ: Hoboken.
2. TensorFlow documentation. (2024, March 10). <https://www.tensorflow.org/learn>
3. Як і чому змінюється тестування і що з цим робити. (10 марта 2024). <https://blog.ithillel.ua/articles/how-and-why-testing-is-changing>
4. Rest – Assured documentation. (2024, March 10). <https://rest-assured.io/>
5. Allure Framework. (2024, March 10). <https://docs.qameta.io/allure/>
6. Що таке REST API? (10 марта 2024). <https://codeguida.com/post/601>
7. Software Testing Introduction. (2024, March 10). <https://learn.epam.com/detailsPage?id=744c27ca-8961-409c-9f8b-5a906b552c5b>

Гуральник, Ф. Б. (30-31 травня 2024). *Використання штучного інтелекту для автоматизації тестування REST API* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※

Guralnik, F. B. (2024, May 30-31). *Using artificial intelligence to automate REST API testing* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК І МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ТА ДАТЧИКІВ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ЗАХИСНОГО СПОРЯДЖЕННЯ САПЕРА

захисне спорядження, вимірювання, акселерометри, датчики.

protective equipment, measurements, accelerometers, sensors

### АВТОРИ

*Кузьміч Олександр Євгенійович, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*

*Аркушенко Павло Леонідович, канд. техн. наук, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*

*Андрушко Микола Васильович, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*

*Тертишнік Євген Михайлович, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*

### АНОТАЦІЯ

*Вкрай важливим залишається питанням оцінка характеристик та можливостей захисного спорядження, яке розробляється для саперних підрозділів.*

*Проведено аналіз доцільності використання різних груп акселерометрів, датчиків і сенсорів та визначено можливі типи вимірювального обладнання для здійснення якісної оцінки захисних властивостей спорядження.*

### ABSTRACT

*The assessment of the characteristics and capabilities of the protective equipment being developed for sapper units remains extremely important.*

*An analysis of the expediency of using different groups of accelerometers, sensors and sensors was carried out, and possible types of measuring equipment were determined for qualitative assessment of the protective properties of the equipment.*

В умовах широкомасштабної збройної агресії російської федерації проти України та поширеного застосування протипіхотних міно-вибухових пристроїв існує відчутна необхідність в постачанні захисного спорядження для саперних підрозділів Збройних Сил України та Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Для визначення захисних можливостей зразків захисного спорядження і здійснення обґрунтованого вибору на користь того чи іншого зразка, необхідно провести випробування, під час якого об'єктивно оцінити його характеристики.

Для достовірного відтворення впливу вражаючих факторів на людину під час вибуху необхідно застосовування антропоморфного манекену на якому в місцях, які найбільш схильні до впливу вражаючих факторів, розташовуються відповідні датчики та сенсори.

Природа травм, що виникають під час вибуху, має велике значення для відпрацювання методики проведення випробувань та визначення переліку параметрів вимірювання

значень яких дозволить провести оцінку захисних властивостей спорядження. Вкрай важливо, щоб методика проведення випробувань і тестове обладнання були здатні фіксувати серйозність або принаймні ймовірність виникнення певної травми.

Виходячи з наявного досвіду визначено, що значна частина нещасних випадків, пов'язаних з детонацією протипіхотних мін, призвела до травм верхньої частини тіла. Також встановлено, що основними вражаючими факторами під час вибуху є балістичні поранення обличчя, шиї та грудної клітки, спричинені осколками мінної гільзи або уламками навколишнього середовища, надлишковий тиск ударної хвилі, який визиває виникнення баротравм та ударне прискорення вплив якого викликає пошкодження органів в середині людини.

Для проведення вимірювань при проведенні випробувань спорядження виділимо декілька груп датчиків.

Перша група буде складатися з акселерометрів розміщених на голові манекену (визначення можливості виникнення тупої травми

голови) та в центрі грудної клітини (визначення можливості виникнення травми торакса).

Друга група датчиків буде відповідати за вимірювання надлишкового тиску ударної хвилі в районі вух та грудної клітини (визначення можливості виникнення баротравми).

Крім того, необхідний сенсор для вимірювання сил та моментів у верхній частині шиї (визначення можливості отримання травми хребта). Прикладом такого сенсора є датчик типу Denton 1716A.

Процес підризу вибухової речовини має дуже малі часові рамки (в середньому  $< 7\text{мс}$ ) тому для реєстрації процесів, що виникають під час даної події необхідні датчики здатні відреагувати на зміну фізичного параметру, які мають дуже малий “час підйому” ( $\leq 1\text{мкс}$ ) та високочастотне реєструюче обладнання з частотою дискретизації  $\geq 100\text{кГц}$ .

Надлишковий тиск ударної хвилі вибуху можливо зафіксувати за допомогою сучасного високочутливого п'єзорезистивного перетворювача тиску, його висока чутливість у поєднанні з високою резонансною частотою ( $\geq 500\text{кГц}$ ) робить його ідеальним для вимірювання динамічного тиску. Можливо використовувати датчики типу Kulite LE-125-500SG, Endevco 8510B-500, Endevco 8510C-50.

Ударне прискорення можливо зафіксувати за допомогою акселерометру на п'єзоелектричному ефекті, що проявляється в утворенні електричного заряду пропорційного прискоренню на пластині чутливого елемента. Кращими, за власними характеристиками, для вимірювання ударного прискорення є акселерометри де в якості чутливого елемента використовується кварц. Можуть бути використані датчики ударного прискорення типу Endevco 2264-4500, Endevco 7274B-2000.

Після встановлення та підключення датчиків на антропоморфний манекен одягається захисне спорядження.

Разом з тим, для визначення захисних властивостей спорядження встановлюються

додаткові датчики “вільного поля” з боку на рівні вух та грудної клітини. Отримані від цих датчиків значення тиску ударної хвилі, під час обробки інформації, порівнюються з значеннями, які отримані з датчиків на манекені під захисним спорядженням. Таким чином здійснюється оцінка захисних властивостей спорядження.

Враховуючи, що вимірювальна система повинна бути розташована на безпечній відстані від місця проведення тестування захисного спорядження існує необхідність застосування дротових ліній великої довжини, які з'єднують датчики та вимірювальні модулі. Тому до складу вимірювальної системи окрім вимірювальних модулів та реєстратора інформації потрібно включати підсилювачі сигналу від датчика. Дані підсилювачі (формувачі) сигналу мають ряд переваг та дозволяють жити датчик та паралельно передавати вимірювальний сигнал, використовуючи при цьому один коаксіальний кабель.

Невід'ємною частиною вимірювальної системи є спеціальне програмне забезпечення, встановлене на ПЕОМ, за допомогою якого здійснюється налаштування каналів реєстрації вимірювальних модулів, обробка отриманої інформації та її фільтрація. За результатами обробки отримуємо графіки сигналів, що надходять від датчиків, які можливо перетворити в нішу форму подання зареєстрованої (числові таблиці значень, діаграми, та інше) інформації для зручності сприйняття та подальшого аналізу.

В якості системи реєстрації параметрів доцільно застосувати систему, що сумісна з датчиками які використовуються та має відповідні частоти характеристики. Прикладом може бути високочастотне вимірювальне обладнання від провідних європейських виробників типу SOMAT XR, (Німеччина), або DEWESoft (Словенія).

Кузьміч, О. Є., Аркушенко, П. Л., Андрушко, М. В., Тертишнік, Є. М. (30-31 травня 2024). *Аналіз характеристик і можливостей застосування вимірювальних систем та датчиків для випробування захисного спорядження сапера* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Kuzmich, O. Y., Arkushenko, P. L., Andrushko, M. V. & Tertyshnik, Y. M. (2024, May 30-31). *Analysis of the characteristics and application possibilities of measuring systems and sensors for testing the protective equipment of a sapper* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВІБРАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАННЯХ

вібростенд, датчики вібрації, системи управління, кріплення.  
vibration stand, vibration sensors, control systems, fasteners

### АВТОРИ

**Тарасенко Ярослав Володимирович**, канд. техн. наук, доцент, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси

**Приходько Сергій Миколайович**, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

В роботі класифіковано конструктивні схеми вібростендів, узагальнено їх недоліки, які можуть знижувати ефективність вібраційних випробувань, визначено сучасні напрямки вдосконалення конструктивної схеми, датчиків та систем управління і контролю вібраційних вимірювань на ряду з вимогами до кріплення випробуваного пристрою до віброзбудника, що дало змогу виокремити шляхи комплексного підвищення ефективності вимірювань при вібраційних випробуваннях.

### ABSTRACT

The work deals with the structural schemes of vibration stands classification, their shortcomings summarization that can reduce the effectiveness of vibration tests, modern directions identification for improving the structural scheme, sensors and control systems of vibration measurements along with the requirements for attaching the tested device to the vibration exciter, which made it possible to identify ways of complex increasing the efficiency of measurements during vibration tests.

На сьогоднішній день, широко застосовуються стендові, натурні та напівнатурні вібраційні випробування. Зокрема, вібраційні стендові випробування є важливим видом дослідження техніки та обладнання до зовнішніх механічних впливів, а саме вібрацій. Однак, однією з вагомих умов ефективного здійснення вібраційних випробувань є точність вимірювання результатів випробувань. Складність процесу вимірювань зумовлена специфікою використання датчиків в комплексних системах генерування вібрацій. При цьому, важливим є врахування типу вібронавантаження, зокрема одно- чи багатокоординатне [1]. Звідси витікає актуальність пошуку шляхів підвищення

ефективності випробувань механізмів, шляхом застосування вібростенду.

Метою дослідження є пошук дієвих сучасних напрямків підвищення ефективності вимірювань в процесі механічних вібраційних випробувань, які можуть забезпечити комплексність загального підходу.

В роботі [2] в з метою підвищення надійності розглядається синергетичний підхід. Крім того, можна зробити висновок, що ефективність випробувань взагалі та ефективність вимірювань вібраційних випробувань, зокрема, залежить від конструктивної схеми вібростенда (рис. 1), кожна з яких має свої окремі недоліки для проведення вібраційних випробувань.

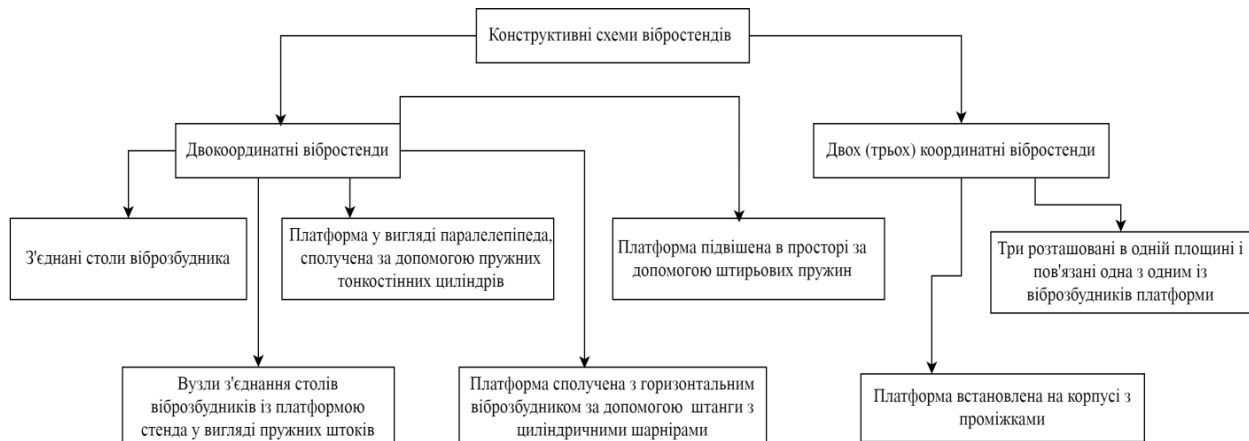


Рис. 1. Класифікація конструктивних схем вібростендів



Таким чином, виходячи з розглянутих в [2] особливостей, можна класифікувати конструктивні схеми вібростендів.

Загалом, кожна конструктивна схема володіє рядом недоліків, які можуть знижувати загальну ефективність випробувань та вимірювань показників випробувань. До таких недоліків можна віднести кінематичний взаємовплив вузлів з'єднання, обмежені набори вібрацій, прискорений знос з'єднань, проміжки між корпусом та платформою, розриви контактів тощо.

Здійснюються спроби вдосконалення структури, зокрема в [3] удосконалюється гідравлічний вібростенд на основі п'єзоелектричних клапанів. При цьому, вимірювання пропонується проводити за допомогою автоматизованих засобів із системою керування. Проте, можуть виникати похибки в процесі вимірювань, зумовлені наданням недостовірної інформації датчиком вимірювання через його перенавантаження. Така ситуація спричинена технологічним процесом вібраційних випробувань та впливом вібрацій на датчик вимірювань.

Основні шляхи підвищення ефективності систем вимірювань в процесі вібраційних випробувань, виходячи з [3], можна розподілити на два напрямки: вдосконалення реєстраторів вібраційного сигналу (шляхом використання можливостей сигма-дельта

перетворення) та/або обчислювальної методики при обробці результатів вібраційних випробувань (шляхом використання вейвлет перетворення). Проте, найбільш ефективно, в контексті поставленої задачі, поєднувати обидва напрямки для досягнення комплексного багатогранного підвищення ефективності вимірювань.

Крім структури та особливостей автоматизованої системи вимірювань і управління процесом, важливим є методика закріплення механізму, який випробовується до вібростенда. При цьому, необхідне виконання таких вимог: уникнення резонансу частот пристосування на випробуваного виробу; дотримання мінімальних амплітуд прискорення, які знаходяться перпендикулярно до головного напрямку; дотримання необхідних значень жорсткості кріплення та монтажних плит.

Отже, виходячи з аналізу, основними напрямками підвищення ефективності вимірювань при вібраційних випробуваннях є комплексне вдосконалення структури, методів закріплення, датчиків та систем керування. Це надасть змогу знизити навантаження на датчики та підвищити ефективність автоматизованої обробки результатів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shpachuk, V. P. (1994). Analysis of features of the multi-coordinate vibration of three-dimensional objects. *International Applied Mechanics*, 30 (1), 70-76. <https://doi.org/10.1007/bf00847159>.
2. Шпачук, В. П. (2018). *Синергетичний ефект у динаміці багатовимірних механічних систем*. Харків, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова.
3. Передерко, А. Л. (2021). *Розвиток методології вібровипробувань та удосконалення засобів вимірювань вібрації об'єктів складної техніки*. Одеса, Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку.

Тарасенко, Я. В., Приходько, С. М. (30-31 травня 2024). *Шляхи підвищення ефективності вимірювань при вібраційних випробуваннях* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Tarasenko, Y. V. & Prikhodko, S. M. (2024, May 30-31). *Ways of increasing the efficiency of measurements during vibration tests* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ОДНОТИПНИХ СМУГОВИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОРЯДКУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

*частотно-залежні компоненти,  
автономні мобільні платформи,  
обмежені обчислювальні ресурси,  
підвищення рівня обробки*

*frequency-dependent components,  
autonomous mobile platforms,  
limited computing resources,  
increased processing level*

### АВТОРИ

*Ситніков Тихон Валерійович, здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії,  
Національний університет "Одеська політехніка", м. Одеса*

*Біленко Анатолій Олександрович, канд. техн. наук, Національний університет "Одеська  
політехніка", м. Одеса*

*Бадерко Ігор, Національний університет "Одеська політехніка", м. Одеса*

*Ситніков Валерій Степанович, д-р техн. наук, професор, Національний університет  
"Одеська політехніка", м. Одеса*

### АНОТАЦІЯ

*Сучасна комп'ютерна криміналістика часто уникає дослідження напрямку, В роботі  
проведено аналіз ФЧХ послідовного з'єднання однотипних частотно-залежних компонент  
для робототехнічних систем з обмеженими обчислювальними ресурсами. Показано  
одержання квазілінійної ФЧХ при такому з'єднанні.*

### ABSTRACT

*In the work, the PFC analysis of the serial connection of the same type of frequency-dependent  
components for robotic systems with limited computing resources is carried out. It is shown that  
a quasi-linear PFC can be obtained with such a connection*

В роботі [1] розглядалися питання побудови тракту обробки сигналів датчиків для робототехнічних систем з обмеженими обчислювальними ресурсами. Показано, що робототехнічні системи та автономні мобільні платформи на сучасному рівні будуються на основі концепції Індустрія 4.0. Це обумовлює апаратно-програмні компоненти системи будувати відповідно до вимогам за мобільністю, гнучкістю, адаптивністю та пристосованістю до умов функціонування. Для забезпечення цих вимог системи оснащуються багатофункціональними датчиками, апаратними та програмними компонентами обчислювальної техніки, які повинні працювати у реальному часі. Оскільки системи повинні працювати у реальному часі в контакт з оператором та на окремих ділянках автономно вони повинні функціонувати в напрямку гуманізації прийняття рішення та дружнього контакту з людиною, відповідно до концепції Індустрія 5.0 та 6.0.

При побудові таких систем слід враховувати можливість перебудовувати власні характеристики програмними, або апаратними засобами в залежності від умов функціонування, а у тракці обробки сигналів датчиків необхідно забезпечити фільтрацію перешкод (пасивних або активних) для підвищення ефективності роботи системи у цілому.

В роботах [1, 2] показано як будуються такі тракти обробки на основі компонентів низького порядку, оскільки це обумовлено малими витратами на обчислення коефіцієнтів передавальної функції та кількості коефіцієнтів, простотою налагодження або перебудови, помірним енергоспоживанням та часу обробки, а при роботі у реальному часі є обмеження на обчислення, перебудову та перехідний процес роботи нової конфігурації тракту.

З врахуванням обмежених обчислювальних ресурсів на борту, в якості компонент низького порядку частіше

використовують компоненти першого та другого порядку. Аналіз типових операцій показав, що такими у тракту обробки сигналів є задачі - зміна частоти зрізу або смуги пропускання (затримки) компоненти, підвищення крутизни амплітудно-частотної характеристики (АЧХ).

Для підвищення крутизни АЧХ та якості обробки сигналів такі компоненти з'єднують послідовно. При послідовному з'єднанні однотипних компонент їх передавальні функції перемножується, а оскільки передавальні функції однотипні, то вони возводяться у ступень.

Після перетворення передавальної функції на основі формул Ейлера одержимо комплексний коефіцієнт передачі, який у свою чергу складається з амплітудно-частотної (АЧХ) та фазо-частотної (ФЧХ) характеристик. Тоді возведення у ступень однотипних компонент приводить до того, що АЧХ возводиться у ступень, а ФЧХ помножується на показник ступеня.

В роботах [1, 2] було показано, що при послідовному з'єднанні однотипних смугових передавальних функцій їх основна АЧХ стискається, при цьому частоти зрізу зсуваються до центральної частоти, яка не зрушується, і зростає крутизна АЧХ. На прикладі передавальної функції основного смугового фільтру першого порядку, який має таке математичне описання і має п'ятьма коефіцієнтами

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}, \quad (1)$$

два у знаменнику та три у чисельнику, однак  $a_2 = a_0$  та  $a_1 = 2$ . Це дозволяє розраховувати тільки три коефіцієнта  $a_0, b_1, b_2$

$$H(z)_{PF} = \frac{a_0 + 2z^{-1} + a_0 z^{-2}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}.$$

Звісно, що рівень на котрому визначають частоту зрізу дорівнює  $1/\sqrt{2}$ . При возведення у ступень АЧХ цей рівень залишається попереднім, але тоді для визначення частот зрізу нових АЧХ необхідно добувати корінь відповідного порядку з цього рівня. Тоді по

АЧХ основного фільтру можна визначити частоту зрізу нової АЧХ на рівні добутого кореня з початкового рівня.

При такому створенні нового тракту обробки сигналів датчиків виникає питання в тому, як буде виглядати ФЧХ в порівнянні з прямим розрахунком фільтру заданого порядку.

Дослідження змін ФЧХ проводилось на основі формули (1). Для цього отримано аналітичне математичне описання ФЧХ, яке має такий вигляд після перетворення

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b_1 + (b_2 + 1) \cos(\bar{\omega})}{(1 - b_2) \sin(\bar{\omega})},$$

де  $\bar{\omega} = 2\pi \frac{f}{f_d}$ ,  $\bar{\omega} \in [0, \pi]$  - відносна частота, а

$f, f_d$  - відповідно лінійна частота та частота дискретизації.

Послідовне з'єднання однотипних фільтрів приводить до квазілінійної ФЧХ в порівнянні з аналогічними фільтрами прямого розрахунку, рис.1.

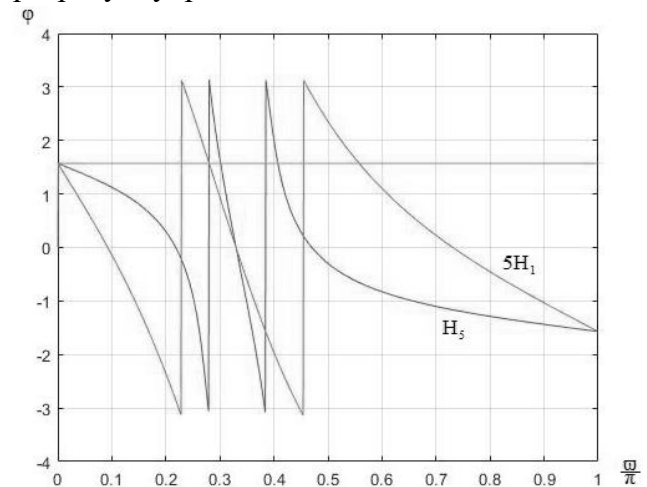


Рис. 1. Графік порівняння ФЧХ з'єднання п'яти однотипних фільтрів з передавальною функцією (1) (5Н1 - це передавальна функція 10 порядку нового фільтру) та ФЧХ фільтра 5 порядку прямого розрахунку (Н5 - передавальна функція теж 10 порядку)

З рисунку 1 видно, що ФЧХ нового з'єднання п'яти однотипних фільтрів є квазілінійною в порівнянні з ФЧХ прямого розрахунку фільтру 5-го порядку. Крім того при розрахунку однотипного фільтру обчислюються тільки 3 коефіцієнта, а у фільтра 5-го порядку шість у чисельнику та

десять у знаменнику.

Таким чином, при аналізі ФЧХ послідового з'єднання однотипних компонент показано, що у новому з'єднанні ФЧХ значно лінійна в порівнянні з ФЧХ прямого розрахунку

необхідного порядку. При обмежених обчислювальних можливостях запропонований варіант значно краще традиційного.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ситніков, Т.В., Войтов, В.М., Лаврухін, В.В., Молочков, В.М., Ситніков, В.С. (12-14 вересня 2023). *Застосування однотипних смугових та режекторних фільтрів для підвищення порядку обробки сигналів* [Збірник праць]. 10-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2023», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

2. Sytnikov, T., Sytnikov, V., Streltsov, O., Stupen, P. (2023, September 7-9). *Increasing Order of Digital Filters of the Same Type in Robotic Systems* [Paper presentation]. 12<sup>th</sup> IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Vol. 1, Dortmund, Germany. DOI: 10.1109/IDAACS58523.2023.

Ситніков, Т. В., Біленко, А., Бадерко, І., Ситніков, В. С. (30-31 травня 2024). *Дослідження фазочастотних характеристик при застосуванні однотипних смугових фільтрів для підвищення порядку обробки сигналів* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Sytnikov T. V., Bilenko A., Baderko I., Sytnikov V. S. (2024, May 30-31). *Investigation of phase-frequency characteristics when applying the same type of bandpass filters to improve the order of signal processing* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.



## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ДАНИХ У РОЗПОДІЛЕНИХ ПРОГРАМОВАНИХ СИСТЕМАХ НА БАЗІ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ

мікросервіси, розподілені системи, потокова обробка даних, Apache Kafka, Apache Spark, Apache Flink

microservices, distributed systems, data stream processing, Apache Kafka, Apache Spark, Apache Flink

### АВТОРИ

**Купріянов Олександр Миколайович**, здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії, Національний університет «Одеського політехніка»

**Ситніков Валерій Степанович**, д-р техн. наук, професор, Національний університет "Одеська політехніка", м. Одеса

### АНОТАЦІЯ

Проаналізовано потокову обробку даних, та існуючі продукти поточкових даних: ApacheKafka, ApacheSpark, ApacheFlink. Визначили основні переваги та недоліки у роботі.

### ABSTRACT

The analysis focused on data stream processing and existing stream data products: Apache Kafka, Apache Spark, and Apache Flink. The key advantages and disadvantages of each in operation were identified.

Вибір найкращого методу обробки даних для розподілених систем на базі мікросервісів залежить від конкретних потреб системи. Важливо враховувати такі фактори, як обсяг даних, які потрібно обробити, частоту оновлення даних та необхідність обробки даних у режимі реального часу

Одна з основних вимог щодо обробки потоків – це можливість прийняти той потік, що надходить на вхід. Зазначимо, що залежно від розв'язуваних завдань, цей потік може бути постійним або зміцнювальним в часі, передбачуваним або містить різкі зміни, на які потрібно коректно реагувати.

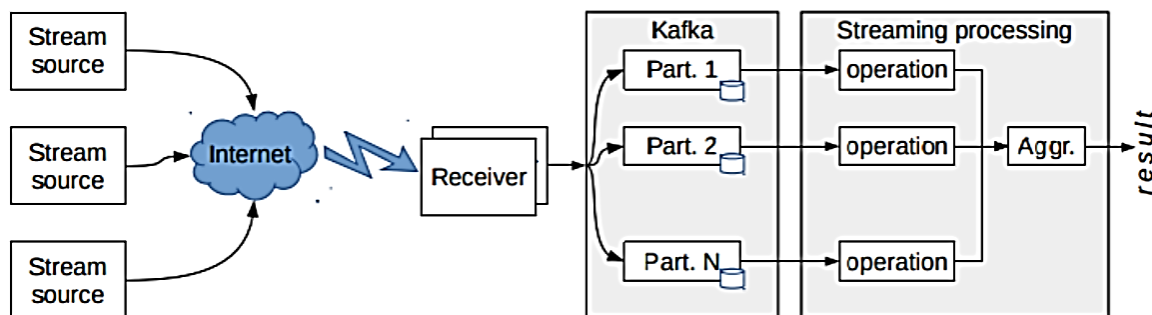


Рис. 1. Типовий приклад збору та обробки повідомлень

Повідомлення поміщаються у чергу, яка може бути збережена в проміжну базу даних, що гарантує подальше отримання даних споживачами, які зараз не активні. Як системи керування бази даних для проміжної бази даних. Додатково програмний продукт Kafka може розкласти повідомлення по вузлам кластера відповідно до використаної функції розміщення. Це дозволяє рівномірно

розподілити подальше обчислювальне навантаження. Якщо розглянути ApacheSpark, то мабуть, він є найвідомішим фреймворком для розв'язання задач машинного навчання. Модуль ApacheSparkStreaming призначений для потокової обробки. Проблема ApacheSpark полягає в його архітектура. ApacheSparkStreaming гіпотетично дозволяє

вирішувати потокові завдання, проте пакетна обробка позначається негативно. Декларована можливість використання єдиного програмного інтерфейсу для пакетного та потокового режиму роботи. Але насправді це реалізовано з великими обмеженнями. Проаналізувавши показники завантаження мережі отримані при допомоги утиліти dstat, можна побачити що істотною проблемою є те, що Spark не здатний відновлювати роботу

вузлів кластера, які випали внаслідок збою. Якщо йдеться про пакетний режим роботи, це не є проблемою, оскільки пакетне завдання буде завантажено після завершення обробки. У разі потоків, де програми запускаються один раз і повинні працювати постійно, це неприйнятно, оскільки веде до неминучої деградації продуктивності.

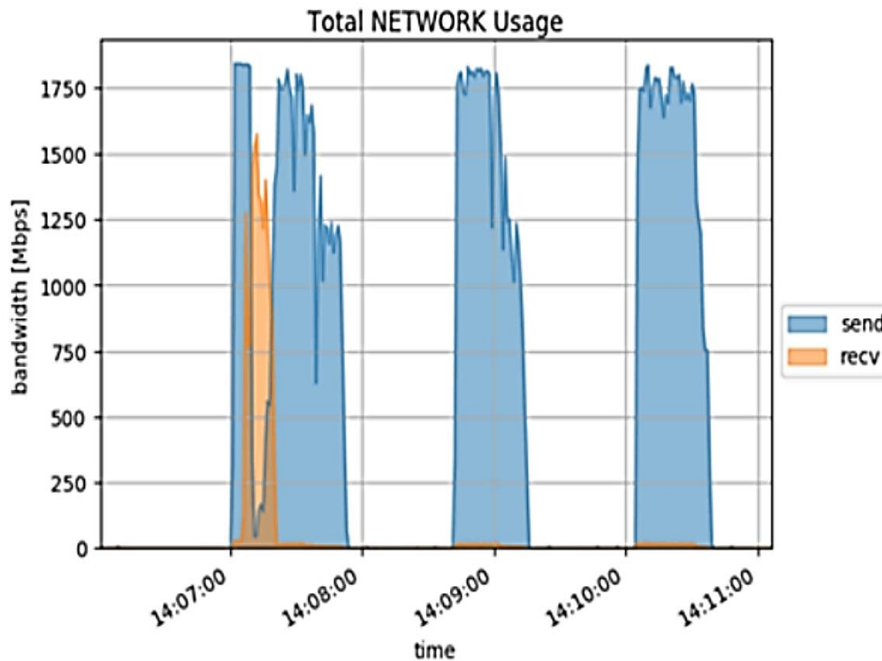


Рис. 2. Схема тестування в режимі одного керуючого та множини обчислювальних вузлів Spark.

Проблемою також є необхідність вручну підбирати та встановлювати обмеження щільності вхідного потоку, оскільки особливість Spark в тому, що не маючи ефективних засобів відстеження зворотного тиску, сплеск вхідних даних призводить до того, що Spark намагається захопити їх усі, ігноруючи виставлений час обробки у вікні. В даний час продукт непридатний для роботи в системах з нерегулярним навантаженням, непридатним для інтерактивних систем. Враховуючи не надто високу продуктивність, високий час затримки, а також масу ручних операцій підбору параметрів, можна припустити, що Spark буде одним з найдорожчих в експлуатації продуктом.

Продукт ApacheFlink позиціюється як універсальний фреймворк, тобто здатний виконувати як потокові, так і пакетні

завдання, проте для того, щоб уникати прямої конкуренції з ApacheSpark, розробники змістили основний акцент саме на обробку потоків даних. Проект народився з академічного проекту Stratosphere і відрізняється глибоким теоретичним опрацюванням архітектури. В ApacheFlink реалізується потокова обробка даних, гарантується обробка повідомлень лише один раз, тобто "exactly-once", забезпечується автоматичне балансування навантаження та відновлення після збоїв, а також присутні механізми підстроювання швидкості обробки конвеєра. З очевидних переваг роботи ApacheFlink слід відзначити безперервність виконання операторів без поділу на фази завантаження даних та обробку. Тест на рис.3, показує майже рівний графік завантаження мережного адаптера керуючого вузла.

ApacheFlink характеризується низькими затримками виконання та високою продуктивністю. З недоліків традиційно наголошують на тому, що проект досить молодий, і небагато великих компаній реально вирішили його використати, проте динаміка його використання про достатній рівень розвитку. І насамперед KafkaStreams є

наслідком розвитку проекту ApacheKafka. Оскільки ApacheKafka широко використовується в бізнес-додатках як засіб підтримки черг повідомлень, інші потокові фреймворки змушені забезпечувати читання та надсилання повідомлень з Kafka. При цьому виникають проблеми гарантованості, обробки повідомлень та продуктивності.

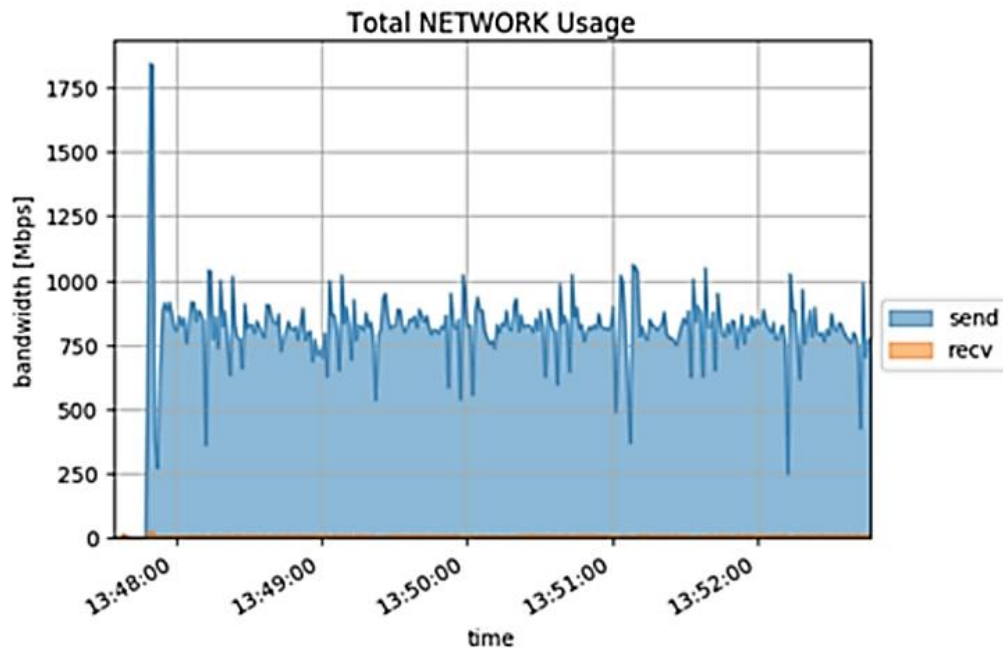


Рис. 3. Схема тестування в режимі одного керуючого та множини обчислювальних вузлів Flink.

Тому, було логічним запропонувати власний інструмент потокової обробки, який входить до складу ApacheKafka. Теоретичним плюсом даного фреймворку є доступність усіх внутрішніх механізмів. Відповідно, у програмному інтерфейсі Kafka передбачені класи KTable та KStream. Серед недоліків слід зазначити, що продукт не є стійким, можливі зміни API, семантика операцій агрегації відрізняється від інших фреймворків. Наприклад, операція `aggregateByKey` замість накопичення та видачі кількох значень у кількості, що дорівнює кількості ключів, видаватиме приватні агрегати по кожному ключу на кожне вхідне повідомлення. Щодо комерційних поточкових фреймворків ситуація зовсім інша. У дослідженні, наприклад, порівнюються різні комерційні фреймворки типу Cisco Connected Streaming Analytics, DataTorrent RTS, Esper Enterprise Edition, IBM Streams, Impetus Technologies StreamAnalytix, OracleStream Explorer, SAP Event Stream Processor, SAS Event Stream Processing, Software AG Apache Streaming

Analytics Platform, SQLstreamBlaze, Striim, TIBCO StreamBase, WSO2 Complex Event Processor та ін. Головна проблема полягає в тому, що частина вендорів випустили продукти для потокової обробки чисто номінально. В більшості випадків споживач не має можливості об'єктивно порівняти їх із відкритими потоковими процесорами і має довіряти лише авторитету марки.

Отже, при розгляді потокової обробки даних, кожен інструмент має свої переваги та недоліки. Вибір між ними залежить від конкретних потреб вашого проекту. Якщо важлива низька затримка та висока стійкість до відмов, ApacheFlink може бути найкращим варіантом. У разі необхідності високої швидкодії та масштабованості без вбудованої обробки даних, ApacheKafka підійде краще. Але якщо вам потрібна зручність у розробці та різноманітність джерел даних, ApacheSpark може бути оптимальним вибором. Важливо враховувати всі аспекти та особливості кожного інструменту при прийнятті рішення.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ApacheFlink: ScalableBatchandStreamDataProcessing. <https://flink.apache.org/>.
2. ApacheKafka. <https://kafka.apache.org/>.
3. ApacheSpark™ - Lightning-FastClusterComputing. <https://spark.apache.org/>.

Купріянов О.М. Ситніков В. С. (30-31 травня 2024). *Аналіз методів обробки даних у розподілених програмованих системах на базі мікросервісної архітектури* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————  
Kupriianov O.M., Sytnikov V. S. (2024, May 30-31). *Analysis of data processing methods in distributed programmable systems based on microservice architecture* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.



## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЛАБОРАТОРНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

вібраційні навантаження, синусоїдальна вібрація, широкопasmова випадкова вібрація, стійкість елементів конструкції

vibration loads, sinusoidal vibration, broadband random vibration, stability of structural elements

### АВТОРИ

**Орлов Сергій Володимирович**, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси

**Герашенко Марина Олександрівна**, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

З метою найбільш повного імітування реальних механічних навантажень, які діють на конструкцію радіоелектронної апаратури в умовах експлуатації проводяться лабораторні випробування, одними з найбільш важливих серед яких є вібраційні випробування. У роботі розглянуті найбільш відомі методи вібраційних випробувань радіоелектронної апаратури та проведено їх порівняльний аналіз. Пропонуються умови доцільного використання кожного розглянутого методу та пропонуються висновки щодо вибору методу вібраційних випробувань

### ABSTRACT

Laboratory tests, one of which are vibration tests, are conducted in order to most fully simulate real mechanical loads acting on the structure of radio-electronic equipment in operating conditions. The work considers the most well-known methods of vibration tests of radio-electronic equipment and carries out their comparative analysis. The conditions for the expedient use of each considered method are proposed and conclusions are made about the choice of the optimal method of vibration tests

Під час роботи усі складові радіоелектронної апаратури відчувають різного роду вібраційні та ударні навантаження. Відомо, що більш половини відмов виробів у машинобудуванні виникають через вібрацію. Вібрація пошкоджує елементи конструкції, скорочує термін служби механічних вузлів, призводить до збоїв у роботі радіоелектронної апаратури. Всередині обладнання вібрація викликає перетирання кріплень елементів в точках з'єднання, порушує герметичність корпусу та викликає відшарування та від'єднання провідників на друкованих електронних платах. Також руйнуються паяні, клейові та зварні з'єднання, виникає роз'єднання радіоелементів, пошкоджується основа друкованих плат тощо. Причинами негативних наслідків від дії вібраційних навантажень є недостатня якість застосованих матеріалів, їх прискорене зношування, неврахування під час розробки втомних

навантажень, зміна фізичних властивостей матеріалу через зростання температури, яка має місце внаслідок вібраційних коливань та інші фактори. Вплив вібраційних навантажень на елементи конструкцій різного розміру відрізняється в основному величиною механічного впливу. Це може призвести до різниці амплітуд вібрації в діапазоні від кількох сантиметрів для блоків надвеликого розміру до мікронів на друкованих електронних платах, насичених мікроелементами.

Вібраційне руйнування відбувається в результаті поступового накопичення в матеріалі пошкоджень при циклічних навантаженнях, появи в ньому мікротріщин, які, з часом, можуть утворити основну тріщину. Коли тріщина в матеріалі досягає критичних розмірів, відбувається порушення фізичної цілісності елемента, що тягне за собою його відмову та може стати причиною

відмови всього окремого блоку радіоелектронної апаратури.

З огляду на те що механічні дії призводять до поступового накопичення ушкоджень в елементах конструкції, коли прояв дефектів потребує кілька тисяч годин випробувань, що в сучасних умовах важко реалізувати. Також при тривалих випробуваннях вкрай важко фіксувати точний час переходу дефекту в відмову і відстежити процес розвитку дефекту, тобто складно забезпечити необхідну достовірність та точність контролю вібраційного впливу та його наслідків. Для кількісної оцінки цього явища використовуються такі показники як число циклів до руйнування, час до втомного руйнування та запас міцності.

Згідно з нормативними документами вібраційні випробування радіоелектронної апаратури можливо проводити в умовах реальної експлуатації або в лабораторних умовах. Лабораторні випробування дозволяють зекономити час та кошти на організацію більш дорогих та складних випробувань пов'язаних з умовами реальної експлуатації. Таким чином метою лабораторних випробувань є досягнення найбільш повного імітування максимальних механічних навантажень під час реальної експлуатації радіоелектронної апаратури.

Лабораторні випробування дозволяють отримати окремі характеристики стійкості елементів радіоелектронної апаратури щодо впливу механічних навантажень не пошкоджуючи при цьому конструкцію блоків радіоелектронної апаратури. Під час лабораторних випробувань можна випробувати не лише блок апаратури в зборі, а і його окремі фрагменти – електроні плати, блоки управління та інші елементи.

До вібраційних випробувань висуваються наступні вимоги:

1) тривалість випробувань, яка залежить від часу експлуатації радіоелектронної апаратури;

2) діапазон частот вібрацій у контрольних точках об'єкта випробувань;

3) точність відтворення та підтримки заданих характеристик у ході випробувань.

У ході випробувань за короткий час та з досить високою точністю необхідно відтворити задані спектральні характеристики вібрацій у широкому діапазоні частот. Для цього для кожного блоку радіоелектронної апаратури окремо створюються програми та методики випробувань і підбирається відповідне випробувальне устаткування.

Сучасне устаткування для проведення вібраційних випробувань є багатофункціональним вібровипробувальним комплексом, що дозволяє відтворювати гармонічну, полігармонічну широкосмугову і вузькосмугову випадкову вібрацію, а також імпульси різної форми. Окрім відтворення вібрації, сучасні вібровипробувальні комплекси вирішують завдання контролю і виміру характерних параметрів вібрації, аналізу і корекції режимів випробувань з урахуванням впливу випробовуваного виробу і устаткування, що входить до складу комплексу. Вартість визначеного устаткування збільшується пропорційно складності вибраного методу вібровипробування, тому вибір методів вібраційних випробувань є важливим завданням під час підготовки до випробувань радіоелектронної апаратури.

Метою доповіді є розгляд переваг та недоліків основних методів вібраційних випробувань радіоелектронної апаратури та визначення рекомендацій по оптимальному застосуванню кожного з них.

Згідно нормативних документів проводяться наступні вібраційні випробування радіоелектронної апаратури:

– випробування на вплив синусоїдальною вібрацією із змінною частотою;

– випробування на вплив синусоїдальною вібрацією з постійною частотою;

– випробування на вплив широкосмугової випадкової вібрації;

– випробування на вплив вузькосмугової випадкової вібрації фіксованого діапазону;

- випробування на вплив вузькосмугової випадкової вібрації змінного діапазону;
- випробування на вплив спільнодіючої синусоїдальної вібрації із змінною частотою та випадкової вібрації змінного діапазону;
- випробування на вплив спільнодіючої синусоїдальної вібрації із змінною частотою та широкосмугової випадкової вібрації.

В доповіді кожен метод вібраційних випробувань розглядається окремо. Після розгляду та аналізу кожного методу робиться висновок про доцільність та найбільш доцільні умови його використання. Так для невеликих або простих блоків радіоелектронної апаратури з трьома або менше резонансними частотами, з огляду на не обґрунтовану в такому разі високу вартість і трудомісткість, пов'язану з широкосмуговим випробуванням на вібрацію, рекомендується вибирати випробування на вплив синусоїдальної вібрації. Такий вибір значно знижує витрати та складність тестування, оскільки не потребує складного сучасного обладнання. Обидва методи постійної та змінної частоти є життєздатними варіантами, але метод змінної частоти є кращим через можливість плавно змінювати частоти в заданому діапазоні, забезпечуючи точний моніторинг параметрів.

З іншого боку, для складних багатоелементних структур з великою кількістю резонансів доцільно використовувати метод широкосмугових випадкових коливань. Це особливо актуально, коли власні частоти структурних елементів узгоджуються з діапазоном коливань самої вібраційної системи. Крім того, цей метод корисний у сценаріях, що вимагають

короткочасного тестування радіоелектронної апаратури.

Методи випробування на вузькосмугову випадкову вібрацію з фіксованою та змінною частотою займають проміжне місце між режимом із змінним синусоїдальним сигналом та режимом широкосмугової випадкової вібрації. Їх обирають для заміни дорогого устаткування, яке необхідно для випробувань у режимі широкосмугової випадкової вібрації, втрачаючи при цьому можливість збудження одразу усіх резонансів конструкції, що може забезпечити режим широкосмугової вібрації.

Ретельно вибираючи відповідний метод випробування на вібрацію на основі складності радіоелектронної апаратури, резонансних частот і тривалості випробувань, можливо забезпечити економічно ефективну та ретельну оцінку продуктивності радіоелектронної апаратури за різних умов вібрації.

У доповіді розглянуті методи вібраційних випробувань та висвітлені переваги і недоліки кожного з них. Проведений порівняльний аналіз дозволяє з'ясувати умови доцільного використання кожного розглянутого методу. Вибір оптимального методу вібраційних випробувань при оцінці радіоелектронної апаратури вимагає комплексної оцінки характеристик апаратури, наявної інформації, умов проведення випробувань і технічних можливостей апаратури для тестування. Систематично оцінюючи ці фактори, дослідники та практики можуть ефективно визначити найбільш прийнятну методологію тестування для забезпечення точної та надійної оцінки радіоелектронного обладнання за умов вібраційних навантажень.

---

Орлов С.В., Геращенко М.О. (30-31 травня 2024). *Аналіз методів лабораторних вібраційних випробувань радіоелектронної апаратури* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※ —————

Orlov S.V., Herashchenko M.O. 2024, May 30-31). *Analysis of methods of laboratory vibration testing of electronic equipment* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ КООРДИНАТ В ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ КУТІВ ОПТИКО ЕЛЕКТРОННИМ ДАТЧИКОМ

Датчик, система стеження, похибка, компаратор, вимірювання

Sensor, tracking system, error, comparator, measurement

### АВТОРИ

**Гордієнко Валентин Іванович**, д-р техн. наук, ст. наук. співробітник, професор кафедри технології та обладнання машинобудівних виробництв, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Васильченко Віктор Юрійович**, ст. викладач кафедри технології та обладнання машинобудівних виробництв, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Коваленко Олександр Олексійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри технології та обладнання машинобудівних виробництв Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

Наведено результати підвищення точності вимірювання кутових координат у широкому діапазоні кутів оптико-електронним датчиком.

### ABSTRACT

The results of improving the accuracy of measuring angular coordinates in a wide range of angles by an opto-electronic sensor are presented in theses

Відомі пристрої для вимірювання кутових координат рухомого джерела світла або вимірювання кутових координат об'єктів, що спостерігаються, якщо вимірювання проводиться з борту рухомого об'єкту.

Для забезпечення широкого діапазону вимірювання кутів датчик встановлюється на поворотній платформі, поворот якої виконується слідкуючою системою за сигналами датчиками кута.

В цьому випадку сумарна похибка вимірювання координат складається з двох складових: похибки самого датчика та похибки слідкуючої системи, так як координата рухомої платформи вимірюється відносно корпусу рухомого об'єкта на якому встановлений датчик.

Похибка слідкуючої системи звичайно набагато більше ніж похибка датчика і на яку впливають кутова швидкість джерела світла чи спостерігаемого об'єкта при вимірюванні, маса рухомої платформи, умови експлуатації.

Запропоновано технічне рішення яке дозволяє значно зменшити вплив похибки слідкуючої системи рухомої платформи на результати вимірювання.

Для зменшення впливу похибки слідкуючої системи в момент вимірювання ступінчато збільшується коефіцієнт підсилення слідкуючої системи, а вимірювання кутових координат виконується в момент, коли похибка слідкуючої системи мінімальна. Фіксація моменту, коли похибка слідкуючої системи мінімальна, виконує введений в схему компаратор с порогом спрацювання близьким до нуля.

Таке технічне рішення значно спростило вимоги до точності слідкуючої системи та її складу і в той же час забезпечило вимірювання кутів в широкому діапазоні із заданою точністю.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гордієнко, В. І. (1986). Оптико-електронна кутомірна система (Автор. свідоцтво 1206614).
2. Шарапов, В. М. та інші. (2005). Теорія автоматичного управління. Черкаси, ЧДТУ.

Гордієнко, В.І. Васильченко, В.Ю., Коваленко, О.О. (30-31 травня 2024). Підвищення точності вимірювання кутових координат в широкому діапазоні кутів оптико електронним датчиком [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.  
※—————

Hordiienko, V. I. Vasylichenko, V. Yu. & Kovalenko, O.O. (2024, May 30-31). Improving the accuracy of measuring angular coordinates in a wide range of angles with an optoelectronic sensor [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.



## СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СЕРВІСУ ДЛЯ РОЗУМНОГО ПРОТЕЗУ

*протез, ЕМГ датчик, мікроконтролер, міоелектричний протез, EMG sensor, microcontroller, myoelectric*

### АВТОРИ

*Наймитенко Сергій Ігорович, магістрант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

*Подорожняк Андрій Олексійович, канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

### АНОТАЦІЯ

*У тексті зазначається чому і як було вирішено розробити власний сервіс для розумного протезу. Проведений аналіз ринку для визначення перспектив проєкту, та тип протеза. Як було виконано розробку сервісу, з якими проблемами стикнулись, як вирішили, які результати розробки та які перспективи розробки.*

### ABSTRACT

*The text describes why and how it was decided to develop its own service for a smart prosthesis. The market analysis was conducted to determine the prospects of the project, and the type of prosthesis. How the service was developed, what problems were encountered, how they were solved, what are the results of the development and what are the prospects for development.*

З плином часу війна котра не зупиняється та десятий рік залишає свій слід, як може глибше. Вона забирає найкращих синів та дочок України, а значній кількості тих кому вдалось вижити, залишає непоправні травми. Багато мирних громадян та ще більше військових потерпають від військової агресії і отримують травми, в результаті яких втрачають кінцівки. Та на щастя ми живемо в еру новітніх технологій, де протезування стало нормою і з кожним роком стає все більш доступним.

Раніше перші протези уявляли собою косметичні конструкції, які частково виконували найпримітивніші функції для тих, хто втратив кінцівки. Зараз же протези являють собою “чудо” інженерної думки. Це складний механізм з великою кількістю датчиків, який працює майже як повноцінна кінцівка. Однак на жаль, протезування не стало настільки доступним, аби всі кому це необхідно могли придбати собі протез. Людям треба для початку зібрати величезну суму, після чого прочекати в чергах на виготовлення протеза і цей процес без налагодженого виробництва може тривати місяці, а то й роки.

В Україні сфера протезування лише

починає свій розвиток і більший стимул вона отримала саме з початку повномасштабного вторгнення. До нас залучена велика кількість інвесторів, компанії власноруч намагаються створити щось своє, однак цього не достатньо і це все ще малодоступно та високовартісно. Тому представлена робота спрямована на розробку протеза верхніх кінцівок, який буде значно доступнішим та буде покривати базові потреби користувача.

Метою доповіді: є розповісти чого саме було досягнуто у процесі розробки сервісу, які результати були досягнуті, та з якими проблемами зіткнулись, а також яким є подальший можливий розвиток проєкту.

Для початку аби розуміти стан ринку протезування було взято 2 звіти аналітичних компаній Strategic Market Research [1], Allied Market Research [2] в яких йдеться про те яка поточна тенденція на ринку протезування, які основні види, причини розвитку протезування. Ці звіти показали що наразі ринок знаходиться в активному рості, те що основні типи протезів до яких буде прикуто найбільше уваги – це міоелектричні протези [3]. Вони не лише мають найбільший попит через їх функціонал, а й збільшують його за рахунок розвитку технологій та покращення

міоелектричних протезів. Цей тип протезів працює на основі сигналу м'язів котрі подаються на датчики, а ті у свій час реагують на сигнали і виконують рухи за допомогою виконавчих механізмів. Наразі великі компанії у галузі протезування орієнтуються саме на ці типи. Наприклад Open Bionics Hero Arm, Ottobock Michelangelo. Саме тому було обрано цей тип протеза для представленої розробки.

Далі було виконано підбір необхідних компонентів, а саме: середовище моделювання, платформа, мікроконтролер та мова програмування. Як стабільне та потужне середовище було обрано Proteus 8, як платформу – Arduino nano з мікроконтролером ATmega328P і мовою програмування C++ котра є балансом серед існуючих мов програмування і дає зручність програмування, швидкодію та малі витрати пам'яті. Кожен компонент підібраний оптимально під умови проєкту, і відображає прагнення розробити якісний та доступний виріб [4].

Після підібраних компонентів було сформовано загальний алгоритм роботи сервісу котрий базувався на трьох елементах: датчик, запрограмований мікроконтролер, виконавчий механізм. Датчик отримує потрібний нам сигнал м'язу, передає його на мікроконтролер а той вже конвертує це в сигнал для виконавчого механізму, в нашому випадку – сервоприводу. Однак починаючи з датчика ми зіткнулись з проблемою, а саме ціною цих датчиків котрі значно підвищували ціну нашого сервісу. Саме тому було вирішено розробити власний датчик. Для цього було використано мікросхему LM324n, де на основі мікросхеми було реалізовано схему інструментального підсилювача з використанням потенціометра що дозволяє регулювати коефіцієнт підсилення від двох до тисячі разів, та фільтром котрий пропускає лише сигнали ЕМГ частот, а саме 30 – 500Гц [5].

Після цього було розроблено алгоритм роботи програмного забезпечення, котрий базується на напруженні м'яза через котре протез виконував би рухи, а саме стискання / розстискання. Сигнал потрапивши до мікроконтролера проходив етапи дискретизації та додаткової фільтрації і за допомогою логічних умов виконувався рух. Важливим моментом було визначити пікову силу сигналу для калібрування сервісу, для подальшого використання. Якщо м'яз напружувався на 2/3 від максимального значення то виконується рух. Це зроблено аби забезпечити користувача від випадкових навантажень та можливих мікросудом котрі виникають у пацієнтів з ампутацією.

В результаті чого було отримано готовий сервіс котрим ми протестували як в електронному, так і реальному варіанті. Саме це тестування дало змогу визначити зони покращень та розвитку розробки. По-перше, під час тестування електронної версії було помічено погану ФЧХ датчику, котра може погіршити швидкодію протеза. По-друге, не вистачало інформаційного супроводу для визначення чи відкалібрувався сервіс та можливості рекалібровки. Ну і звісно повноцінного каркаса котрий дав би змогу провести тестування функціонала пристрою. В майбутньому всі недоліки котрі були помічені будуть допрацьовуватись та виправлятись, після буде тестування виробу на пацієнтах з ампутуваними кінцівками, котре підкреслить можливі зони розвитку, або ж покаже що виріб функціональний і готовий до використання.

Однак вже на цьому етапі можна зазначити що розроблений сервіс має позитивні ознаки та перспективи стати корисним пристроєм для людей котрі живуть з втраченими верхніми кінцівками.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Global Market Research Company. (2023). Upper Limb Prosthetics Market Size, Trends. Global Growth 2030. Strategic Market Research. <https://www.strategicmarketresearch.com/market-report/upper-limb-prosthetics-market>.
2. Allied Market Research. (2023). Upper Limb Prosthetics Market Size. Growth Prediction - 2030. <https://www.alliedmarketresearch.com/upper-limb-prosthetics-market-A12065>.
3. Igual, C., Pardo, A., Nahne, J. M. & Igual, J. (2019). Myoelectric Control for Upper Limb Prostheses. *Electronics*, 8 (11), Article 1244. <https://doi.org/10.3390/electronics8111244>.
4. Подорожняк, А. О. & Наймитенко, С. І. (2023). Розробка та дослідження сервісу для розумного протезу верхніх кінцівок. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 4 (74), 137-142. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.4.137>.
5. Наймитенко, С. І. & Подорожняк, А. О. (2022). *Розробка сервісу для розумного протезу* [Збірник праць]. 30-та Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2022), Харків: НТУ «ХПІ», Україна. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/65309>.

Наймитенко, С. І., Подорожняк, А.О. (30-31 травня 2024). *Стан та перспективи розвитку сервісу для розумного протезу* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Naimytenko, S. I. & Podorozhniak, A.O. (2024, May 30-31). *State of the art and prospects for the development of smart prosthesis services* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.

## СИСТЕМА ВИХРОСТРУМОВОГО ВИМІРЮВАННЯ ПРИПОВЕРХ- НЕВИХ РАДІАЛЬНИХ ПРОФІЛІВ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ХАРАК- ТЕРИСТИК ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

вихрострумове вимірювання, циліндричний об'єкт контролю, радіальні профілі магнітної проникності і електричної провідності, сурогатна модель, однорідний комп'ютерний план експерименту, експрес метод, динамічна таблиця другого рівня

eddy current measurement, cylindrical object of inspection, radial profiles of magnetic permeability and electrical conductivity, surrogate model, homogeneous computer experiment design, express method, second level dynamic table.

### АВТОРИ

*Сторчак Анатолій Вячеславович*, здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

*Гальченко Володимир Якович*, д-р техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

У тексті описано метод розв'язку задачі неруйнівного контролю, а саме вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик матеріалу циліндричних об'єктів. Окреслено загальні концепції, етапи та особливості процесу створення системи такого вимірювання. Приведено складові реалізації системи вихрострумове вимірювання на основі реалізованої сурогатної моделі процесу вихрострумове контролю трансформаторним перетворювачем і експрес методу вимірювання в реальному масштабі часу з застосуванням дворівневих Lookup tables.

### ABSTRACT

The text reports a method for solving the problem of non-destructive testing of near-surface radial profiles of electrophysical material characteristics of cylindrical objects. The general concepts, stages and features of the process of creating a system for such measurement have been described. The components of the implementation of the eddy current measurement system based on the implemented surrogate model of the process of eddy current control by a transformer converter and the express method of real-time measurement using two-level lookup tables were presented.

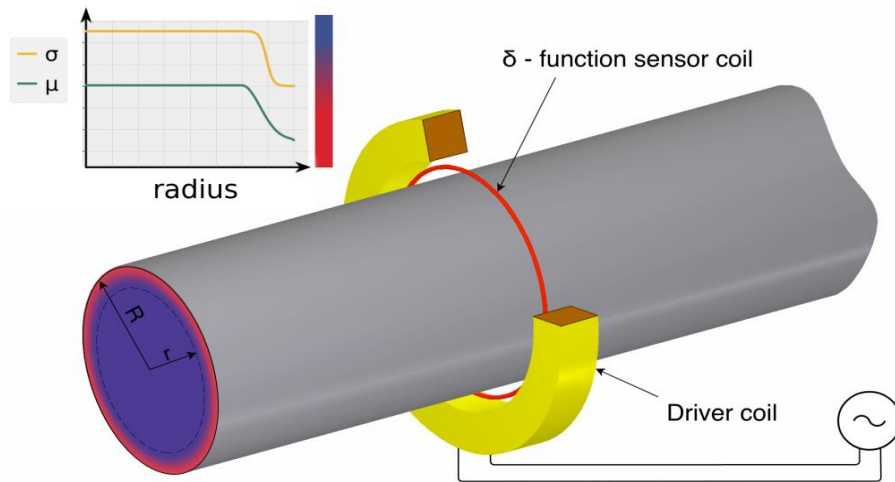
Суть вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик полягає в наступному. Після термічної чи термохімічної обробки деталей: азотуванням, гартуванням, цементацією, покриття нітридом титану тощо, змінюються фізико-механічні властивості матеріалу поверхневого матеріалу виробів. Завдяки кореляційним зв'язкам електричної провідності (ЕП) та магнітної проникності (МП) з фізико-механічними властивостями матеріалу, в свою чергу, за допомогою вихрострумове контролю можна отримати інформацію про такі властивості приповерхневого шару матеріалу як в'язкість, пластичність, твердість, теплоємність,

міцність, а крім того, хімічний і фазовий склад.

Вважатимемо, що електрофізичні параметри ОК змінюються вздовж радіуса неперервно відповідно до певних законів розподілу, рис. 1.

В процесі контролю, бажано отримувати результат при одній частоті струму збудження та в реальному масштабі часу за одну вимірювальну операцію. Негативними факторами такого процесу вимірювання є нестабільність частоти струму збудження і вірогідна непостійність радіуса об'єкта контролю (ОК) (зазору між датчиком і поверхнею ОК), можливі зміни яких треба враховувати при проведенні вимірювань.





**Рис. 1.** Вихрострумний метод вимірювання параметрів матеріалу приповерхневого шару циліндричних ОК: R-r – приповерхневий шар з змінними електрофізичними параметрами матеріалу; Driver coil – обмотка збудження;  $\delta$ -function sensor coil – вимірювальна обмотка у вигляді нескінченно тонкого витка.

З математичної точки зору, визначення параметрів за отриманим сигналом вихрострумного перетворювача (ВСП) є некоректно поставленою задачею. Розв'язок цієї задачі був поділений на кілька основних етапів:

- реалізація “точної” моделі процесу вихрострумного контролю на основі аналітичних обчислень;
- створення однорідних комп'ютерних планів експерименту для подальшого навчання сурогатної моделі та наповнення таблиць пошуку (LUT);
- створення сурогатної моделі на базі згенерованих даних відповідно до “точної” моделі;
- реалізація пошуку профілів значень характеристик приповерхневого матеріалу ОК за допомогою LUT та алгоритму динамічного формування уточненої таблиці другого рівня для досягнення більшої точності.

Відповідно до “точної” електродинамічної моделі [1] для обчислення векторного потенціалу і напруги ВСП в процесі дослідження написано програмне забезпечення, яке реалізовано за допомогою мови програмування Python 3 та з використанням бібліотек NumPy і SciPy. Для оптимізації калькуляцій деякі функції і підінтегральні вирази з функціями Бесселя були замінені апроксимаціями. Інтегрування проводилося методом усічення з адаптивною межею та розбиттям діапазону інтегрування на частини.

Верифікацію комплексу програм було проведено за допомогою аналітичних

моделей для більш простих випадків, тобто двошарових ОК [2, 3], які дозволяють отримати значення векторного потенціалу в області розміщення вимірювального витка, а також за допомогою програмного продукту мультифізичного моделювання COMSOL Multiphysics (AC/DC Module), що використовує для аналогічних розрахунків FEM.

Враховуючи багатопараметровість задачі ідентифікації профілів та з метою скорочення обсягу вимірювальних операцій, накопичення апріорної інформації щодо ОК має сенс виконувати в сурогатній моделі процесу контролю при варіюванні суттєвими технічними параметрами, зокрема ЕП, магнітною проникністю МП приповерхневого шару, діаметром ОК, частотою збудження вихрових струмів [4].

Універсальним засобом для створення сурогатних моделей є глибокі штучні нейронні мережі (DNN). Завдяки своїм узагальнюючим властивостям та здатності бути носієм апріорної інформації про процес контролю, DNN є засобами апроксимації з прийнятною точністю, що значно заощаджують час в отриманні результату і підвищують якість подальших експериментів в дослідженнях.

Сурогатні моделі у вигляді DNN відносяться до data driven методів, а це означає, що якість вибірки напряму впливає на якість відтворення результатів моделювання в подальшому. Створення комп'ютерного однорідного плану експерименту можливе за допомогою, наприклад, сукупності визначених в просторі

точок, отриманих з використанням квазі-випадкових послідовностей, зокрема  $R$  послідовностями [5].

В контексті вимірювальної задачі, для формування коректного плану експерименту спочатку варто визначитися з конкретними параметрами, які будуть змінюватися при розрахунках за цими планами. Так як вважається, що приповерхневий матеріал ОК має неперервну зміну електрофізичних параметрів уздовж його радіусу саме в зоні приповерхневого шару, запропоновано наступний концепт побудови вибірки: електрофізичні характеристики глибинного матеріалу ОК вважалися сталими і задавалися як характеристики 1-го умовного шару, а приповерхневий матеріал був представлений сукупністю інших апроксимаційних шарів. Зміна характеристик матеріалу цих шарів відбувалася відповідно до певної апроксимізаційної функції [6]. Опорними змінними розподілення, що визначаються за набором значень  $R$  послідовностей, є тільки граничні значення характеристик матеріалу, а всі проміжні значення визначаються за функціями розподілення.

Для розв'язку оберненої задачі вимірювання профілів електрофізичних параметрів ОК в рамках цих досліджень, пропонується застосування дворівневого

пошуку по апіорі підготовленим LUT [7]. На першому етапі пошуку застосовується нарахована заздалегідь таблиця “грубих значень” сигналу напруги ВСП з досить великою дискретизацією і відповідних цьому сигналу параметрів ОК (профілів провідності та магнітної проникності).

На другому етапі, за знайденими “грубими значеннями” параметрів ОК динамічно формується новий набір проміжних значень параметрів в діапазоні їх найближчих табличних значень. Новий набір створюється за допомогою динамічно створеного комп'ютерного плану експерименту на  $R$  послідовностях, і на основі цієї вибірки нараховується і зберігається таблиця другого рівня. Обчислення значень вихідного сигналу ВСП в таблиці здійснюється з використанням сурогатної моделі, що значно скорочує час обчислення.

Виконання цих етапів дозволяє стверджувати про створення програмного забезпечення системи для розв'язку оберненої вимірювальної задачі вихрострумової структуроскопії щодо одночасного визначення профілів електрофізичних параметрів об'єктів контролю в реальному масштабі часу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nestor, C. W. Jr., Dodd, C. V. & Deeds, W. E. (1979). Analysis and computer programs for eddy current coils concentric with multiple cylindrical conductors (ORNL Report No. ORNL-5220). Oak Ridge National Laboratory.
2. Dodd, C. V. & Deeds, W. E. (1967). Analytical solutions to eddy-current probe coil problems (Report No. 10.2172/4499902). United States. <https://doi.org/10.2172/4499902>
3. Dodd, C. V., Luquire, J. W., Deeds, W. E. & Spoeri, W. G. (1969). Some eddy-current problems and their integral solutions (Report No. 10.2172/4783007). United States. <https://doi.org/10.2172/4783007>
4. Halchenko, V. Ya., Storchak, A. V., Trembovetska, R. V. & Tychkov, V. V. (2020). Створення сурогатної моделі для відновлення приповерхневих профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів. Український метрологічний журнал, 3, 27-35. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3.2020.216824>
5. Roberts, M. *The unreasonable effectiveness of quasirandom sequences*. (2018, May 16). <http://extremelearning.com.au/unreasonable-effectiveness-of-quasirandom-sequences/>
6. Halchenko, V. Ya., Tychkov, V. V., Storchak, A. V. & Trembovetska, R. V. (2020). Відновлення приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів при вихрострумових вимірюваннях із наявністю апіорних даних. Формування вибірки для побудови сурогатної моделі. Український метрологічний

---

журнал, 1, 35-50. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.1.2020.204226>

7. Гальченко, В., Сторчак, А., Тичков, В. & Трембовецька, Р. (2022). *Вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів вихрострумовим методом із застосуванням апріорних даних*. Український метрологічний журнал, 1, 5-11. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.1.2022.258678>

---

Сторчак, А. В., Гальченко, В. Я., (30-31 травня 2024). *Система вихрострумового вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Storchak, A. V., Halchenko, V. Ya. (2024, May 30-31). *Eddy current measurement system for surface radial profiles of electrophysical characteristics of cylindrical objects* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО- БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ СУЧАСНОГО МЕДИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

*Оптичне волокно, лазерне випромінювання, багатофункціональний оптичний елемент, медичне обладнання*

*optical fiber, laser radiation, multifunctional optical element, medical equipment*

### АВТОРИ

*Лукашевич Віталій Сергійович, здобувач освітнього рівня магістра, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси*

*Канашиевич Георгій Вікторович, д-р техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси*

*Мацена Сергій Михайлович, старший викладач, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси*

### АНОТАЦІЯ

*В тексті розглядається оптичне волокно, як багатофункціональний оптичний елемент та його властивості. В сукупності, лазерне випромінювання та багатофункціональність оптичного елемента, надають медичному обладнанню іншої якості, підвищуючи якість лікування та розширюючи можливості медичних послуг. Представлені також результати аналізу та надана оцінка у відсотках щодо використання оптичного волокна в різних напрямках медичної сфери. Представлені основні властивості оптичного волокна і лазерного випромінювання, при проектуванні і виготовленні медичного інструменту і обладнання. Показано, що використовуючи оптичне волокно, як багатофункціональний елемент можна отримати нові результати, які розширюють існуючі номенклатуру інструментарію і обладнання для медичної галузі.*

### ABSTRACT

*The text discusses optical fiber as a multifunctional optical element and its properties. Taken together, laser radiation and the multifunctionality of the optical element provide medical equipment with a different quality, improving the quality of treatment and expanding the possibilities of medical services. The results of the analysis are also presented and a percentage estimate of the use of optical fiber in various areas of the medical field is given. The basic properties of optical fiber and laser radiation in the design and manufacture of medical instruments and equipment are presented. It is shown that by using optical fiber as a multifunctional element, new results can be obtained that expand the existing range of tools and equipment for the medical industry.*

На теперішній час, медичне обладнання стрімко вдосконалюється, а його головними елементами стали газові, твердотільні, напівпровідникові лазери, які працюють у фіксованих значеннях електромагнітних хвиль оптичного діапазону. Оптичні елементи: волокно, дзеркала, лінзи та інші, більш складні оптичні системи, які побудовані на їх основі, широко використовуються для локалізації світлової енергії та її спрямування у визначену координату. В такій сукупності, лазерні випромінювачі та оптичні елементи, надають медичному обладнанню іншої якості, що дозволяє розширити існуючі можливості

медичних послуг [1].

Оптичне волокно є багатофункціональним елементом сучасного медичного обладнання; воно є відповідальним елементом за розповсюдження і доставку променевої енергії в необхідне місце біологічного об'єкту [2]. Наприклад, доставка енергії може проводитися, як на зовнішній покрив шкіри, так і вглиб тканини. Багатофункціональність волокна обумовлена успішним використанням його, як інструменту в різних медичних цілях. Нами проаналізовані напрямки та оцінені відсотки використання оптичного волокна в медичній галузі на 2023-2024 рр., рисунок 1.





**Рис. 1.** Багатофункціональне використання оптичного волокна в медицині.

Медична візуалізація передбачає близько 50% використання оптичного волокна для створення візуальних зображень внутрішніх органів з метою проведення клінічного аналізу і медичного втручання. Медична візуалізація використовується для огляду внутрішніх структур тіла людини, а також для діагностики і лікування хвороб тощо.

Хірургічні та терапевтичні інструменти. Близько 30%. Оптичні волокна використовуються в хірургічних лазерах, світловій терапії (наприклад, фотодинамічній терапії для лікування раку) та оптичній когерентній томографії (ОКТ) для збору відбитого або розсіяного світла [5].

Діагностичні прилади. Приблизно 10%. Оптичні волокна відіграють важливу роль у діагностичних пристроях, таких як волоконно-оптичні датчики для вимірювання життєво важливих показників (температури, тиску тощо) та системи моніторингу рівня глюкози в крові. Волоконно-оптичний кабель можна використовувати для створення фіброоптичних датчиків, які реагують на вміст глюкози в крові. Це може включати в себе спеціальні реагенти або матеріали, які змінюють свої оптичні властивості під дією глюкози [4].

Застосування в стоматології: Близько 5%. Оптичні волокна використовуються в стоматологічних інструментах, таких як стоматологічні лазери для таких процедур, як

лікування карієсу, хірургія ясен і відбілювання зубів.

Дослідження та розробки. Приблизно 5%. Оптичні волокна мають вирішальне значення в медичних дослідженнях для розробки нових методів візуалізації, вивчення властивостей тканин і вдосконалення технологій медичних приладів.

Основні властивості оптичного волокна і лазерного випромінювання, при проектуванні і виготовленні медичного інструменту і обладнання.

Механічні властивості волокна (пружність, міцність, твердість) забезпечують його високу проникливість, гнучкість, стійкість до руйнування в біологічному об'єкті. Матеріалом оптичного волокна, переважно, є кварцове скло.

Висока прозорість кварцового скла, оптична однорідність, стійкість до високих температур, теплофізичні характеристики матеріалу оптичного волокна дозволяють використовувати фокусуючі елементи-лінзи на його торці, що забезпечують генерацію питомої потужності  $P_{\text{пит}} = 0,5 \cdot 10^1 \text{ Вт/см}^2 \dots 10^9 \text{ Вт/см}^2$  на об'єкти з лінійними розмірами від одиниць мікрометрів до одиниць сантиметрів.

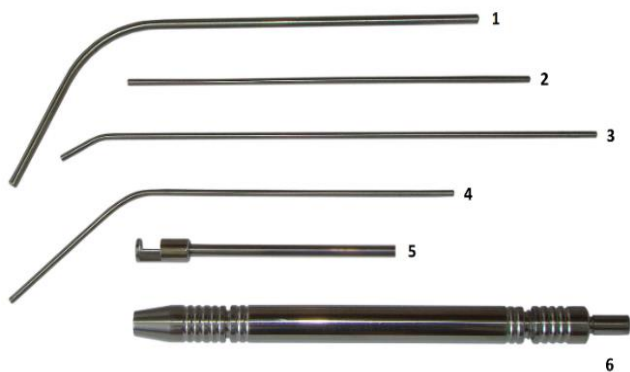
Хімічна нейтральність оптичного волокна до біологічної тканини і біологічної рідини з додатковими засобами стерильності забезпечують надійність його використання в хірургії [3].

Оптичні волокна забезпечують візуалізацію (гастроскопія, бронхоскопія тощо) недоступних порожнин біологічного об'єкту.

Одним з найважливіших аспектів використання оптичного волокна у медичних імплантатах є можливість забезпечення точної та ефективної передачі інформації та енергії безпосередньо до місця лікування чи діагностики. Наприклад, оптичне волокно може використовуватися для передачі сигналів від імплантованого датчика до зовнішнього пристрою для моніторингу показників здоров'я пацієнта. Крім того, застосування оптичного волокна дозволяє зменшити ризик інфекцій та ускладнень, оскільки волокно може бути розміщене в тілі без необхідності великих розрізів та операційних втручань. Це робить технологію особливо привабливою для використання в сучасній хірургії та імплантології.

Оптичне волокно для мініатюризації та інтеграції медичних пристроїв. Оскільки оптичне волокно має дуже малий діаметр, його легко вбудовувати в найрізноманітніші медичні пристрої, такі як ендоскопи, лазерні системи, оптичні датчики тощо. Це дозволяє створювати компактні та зручні для використання пристрої, що в свою чергу сприяє розвитку мініінвазивної хірургії та точної діагностики.

Як приклад, приводимо одну із схем будови оптоволоконного інструменту, розробленого на підприємстві Фотоніка Плюс (м. Черкаси) для загальної хірургії.



**Рис. 2.** Універсальна рукоятка зі змінними дистальними наконечниками різної форми

Хірургічні насадки з оптичним волокном, які підводять лазерне випромінювання до місця впливу, широко використовуються у лазерній хірургії та медицині для точного та мінімально інвазивного лікування різних патологій [6].

Декілька варіантів використання хірургічних насадок:

1. Лазерна коагуляція. Цей метод використовується для зупинення кровотечі або коагуляції (згущення) тканин. Хірургічні насадки з оптичним волокном підводять лазерне випромінювання точно до зони лікування, що дозволяє здійснювати точне вплив на потрібну область.

2. Лазерна резекція. Використовується для видалення пухлин, патологічних утворень або частин органів. Лазерні насадки з оптичним волокном дозволяють лікарям точно вибрати область для резекції та виконати процедуру з мінімальним пошкодженням навколишніх тканин.

3. Лазерна деструкція. Використовується для знищення пухлин, каменів у сечоводах або жовчних шляхах, а також інших патологічних утворень. Оптичне волокно в хірургічній насадці дозволяє точно націлювати лазерне випромінювання для деструкції уражених тканин.

У висновку можна зазначити:

1. Розглядаючи і використовуючи оптичне волокно, як багатофункціональний елемент нами отримані нові результати, які дозволили розширити існуючу номенклатуру оптичного інструментарію і обладнання для медичної галузі.

2. Розширення номенклатури оптичного інструментарію і обладнання підвищили якість впливу лазерного випромінювання на локальні ділянки шкіряного покриву, чим покращили результати лікування.

3. Для досягнення подальших якісних результатів при виготовленні оптоволоконного інструментарію, головною умовою є розуміння різноманітності і складності оптичних явищ, які супроводжують процеси взаємодії лазерного випромінювання з оптичними матеріалами.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Laser Biological Hazards-Skin. Environmental Health and Safety*. (2019). USA, Oregon State University.
2. Safety of the use of laser devices. RP Photonics Encyclopedia, (2019, March 18). [www.rpphotonics.com](http://www.rpphotonics.com)
3. Застосування лазера у хірургії. (2021, August 16). <https://medcity.ua/ua/patient/section/primenenie-lazera-v-khirurgii/>
4. Павлов, С. В., Просоловський, Р. В., Козловська, Т. І. (2013). *Використання волоконно-оптичних сенсорів у біомедичних дослідженнях*. Опт-ел. інф-енерг. техн., 15 (1), 154-159.
5. Чепурна, О. М. (2014). *Розробка і апробація нового варіанту методу фотодинамічної терапії пухлин із застосуванням лазерного скануючого пристрою*. Опт-ел. інф-енерг. техн., 27 (1), 128-131.
6. Комарова, О.С., Холін, В.В., Павлов, С.В., Посохов, М.Ф., Тертишний, С.В., Рева, А.В., Івлєв, Я.О., Ткаченко, М.В. (2023). *Комбінований оптоволоконний інструмент суміщений з пірометром*. Optoelectronic Information-Power Technologies, 46 (2), 100-104. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2023-46-2-100-104>

Лукаsevич, В.С., Канашевич, Г.В., Мацєпа, С.М. (30-31 травня 2024). *Оптичне волоконно-багатофункціональний елемент сучасного медичного обладнання* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Lukasevych, V.S., Kanashevych, G.V., Matsepa, S.M. (2024, May 30-31). *Optical fiber is a multifunctional element of modern medical equipment* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.

## НЕПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАСКИХ ПРОВІДНИХ ВИРОБІВ ВИХРОСТРУМОВИМ МЕТОДОМ

вихрострумний метод, ідентифікація, фізичні властивості матеріалу, обернені задачі, оптимізаційний метод, сурогатні моделі скороченої розмірності, глибокі нейромережі, апріорна інформація, глобальний екстремум.

eddy current method, identification, physical properties of the material, inverse problems, optimization method, surrogate models of reduced dimensionality, deep neural networks, a priori information, global extremum

### АВТОРИ

**Тичков Володимир Володимирович**, канд. техн. наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Трембовецька Руслана Володимирівна**, д-р техн. наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Тичкова Наталія Борисівна**, здобувачка освітньо-наукового рівня доктора філософії, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Гальченко Володимир Якович**, д-р техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

Для підвищення точності одночасного визначення профілів електричної провідності та магнітної проникності при вихрострумних вимірюваннях запропоновано експериментально-числовий метод ідентифікації фізичних властивостей плоских металевих об'єктів засобами сурогатної оптимізації із накопиченням додаткових апріорних знань щодо них у нейромережеских метамоделях із нелінійно-скороченою розмірністю. Відмінною рисою цього методу є інтеграція комбінованих ознак у сурогатну модель, що одночасно поєднує в собі переваги високопродуктивних обчислень з точки зору витрат ресурсів і виконання алгоритмів оптимізації в факторному Kernel PCA просторі. Висока точність метамоделі забезпечується однорідним планом експерименту на основі модифікованих квазіпослідовностей LPt-Соболя, які мають низький коефіцієнт розбіжності в цілому та у всіх двовимірних проєкціях. Для знаходження екстремумів цільової функції під час ідентифікації використовується стохастичний метаевристичний гібридний алгоритм (низькорівнева гібридизація з генетичним алгоритмом GA) глобальної оптимізації з роями частинок PSO з еволюційним формуванням складу рою. Модельні приклади демонструють ефективність методу ідентифікації, який показав достатньо високу точність на тестових зразках.

### ABSTRACT

To improve the accuracy of simultaneous determination of electrical conductivity and magnetic permeability profiles in eddy current measurements, an experimental and numerical method for identifying the physical properties of planar metal objects by means of surrogate optimization with the accumulation of additional a priori knowledge about them in neural network metamodels with nonlinearly reduced dimensionality is proposed. A distinctive feature of this method is the integration of combined features into a surrogate model, which simultaneously combines the advantages of high-performance computing in terms of resource consumption and the execution of optimization algorithms in the factor Kernel PCA space. The high accuracy of the metamodel is ensured by a homogeneous design of experiment based on modified LPt-Sobol's quasi-sequences, which have a low coefficient of discrepancy in general and in all two-dimensional projections. To find the extremes of the target function during identification, a stochastic metaheuristic hybrid algorithm (low-level hybridization with the genetic algorithm GA) of global optimization with particle swarms PSO with evolutionary formation of the swarm composition is used. The model examples demonstrate the effectiveness of the identification method, which showed a fairly high accuracy on test samples.

Серед задач ідентифікації доволі значну частину складають задачі оберненої ідентифікації властивостей матеріалів. Це викликано їх суттєвим практичним значенням для промисловості, де вони дозволяють вирішити цілу низку різноманітних проблем, пов'язаних із виробництвом та технологіями. Зокрема, в цих дослідженнях акцентується



увага на задачах оберненої ідентифікації фізичних властивостей металевих пласких об'єктів контролю (ОК). Типовими параметрами, що підлягають оцінюванню, зазвичай частіше за все є електрична провідність (ЕП) та магнітна проникність (МП). В багатьох випадках вони можуть нести інформацію щодо результатів та якості виробничого процесу або наслідків впливу на ОК агресивного середовища. Реєстрація змін фізичних властивостей ОК засобами, наприклад, вихрострумowego неруйнівного контролю дозволяє здійснювати оперативне прийняття ефективних управлінських рішень щодо контрольованих процесів. Отже, одночасне визначення вказаних параметрів у результаті безконтактних вимірювань ЕРС накладним вихрострумowym перетворювачем (ВСП) над поверхнею ОК із наступною ідентифікацією розподілів ЕП та МП (тобто профілів параметрів) вздовж його товщі числовими методами є актуальним завданням, що потребує виконання.

Вказана задача не є тривіальною, оскільки відноситься до математично некоректно поставлених [1], для яких характерними є нестійкість розв'язання при наявності шуму та неконтрольованих варіацій комплексно-значного сигналу, вимірюваного ВСП. Особливістю визначення профілів ЕП та МП є поєднання процедур вимірювання та чисельного розв'язання оберненої задачі на просторі множини комплексних чисел, кожна з яких вносить відповідну специфіку у їх загальну взаємодію. І хоча певні спроби вирішення зазначеної проблеми мають місце, як, наприклад, у [2], вони ще не є достатньо досконалими та потребують подальшого прогресування, в тому числі на засадах інтелектуальних технологій.

Отже, метою статті є створення експериментально-числового методу ідентифікації фізичних властивостей пласких металевих об'єктів засобами сурогатної оптимізації із накопиченням додаткових апріорних знань щодо них у нейромережових метамоделях із нелінійно-скороченою

розмірністю для підвищення точності одночасного визначення профілів електричної провідності та магнітної проникності при вихрострумowych вимірюваннях.

Оцінювання профілів ЕП та МП виконується експериментально-числовим методом, послідовність виконання етапів якого багато в чому співпадає із запропонованими у [3], але з певними змінами, що стосуються накопичення апріорних відомостей у нейромережовій метамоделі. Коротко деталізуємо ці етапи у відповідності до логіки та послідовності їх виконання, тобто наведемо фреймворк ідентифікації.

Перший етап передбачає проведення одноразового вимірювання накладним ВСП над пласким металевим ОК із реєстрацією синусоїдального сигналу ЕРС, математично представленого комплексним числом у експоненціальній формі запису, тобто з фіксацією його амплітуди та фази. На цьому завершується експериментальна частина методу ідентифікації, а всі наступні етапи стосуються виключно числовій його реалізації.

На наступному етапі визначаються ключові основні та додаткові параметри електродинамічної моделі, що описує процес вимірювання та відображає результат взаємодії електромагнітного поля із струмопровідним середовищем ОК. Отож, основними вважатимемо дискретизовані профілі ЕП  $\sigma_i(z)$  та МП  $\mu_i(z)$ ,  $i = 1, \dots, L$ , де  $L$  – кількість умовних шарів розбиття зони проникнення електромагнітного поля всередину ОК; а додатковими корисними – частоту  $f$  збудження електромагнітного поля зондування та діаметр  $2 \cdot r$  вимірювальної котушки ВСП; тоді як додатковим завадовим – повітряний зазор між ВСП і поверхнею ОК. До апріорної інформації, котра акумулюється у метамоделі, належать ще й закони розподілу ЕП і МП. На цьому етапі також створюється комп'ютерний однорідний план експерименту [4, 5] із обов'язковим введенням до нього основних параметрів моделі, проте інкорпо-

рування визначених додаткових параметрів може відбуватися або ні, в залежності від вимог до точності розрахунків.

На третьому етапі для формування навчальної вибірки використовується високозатратна електродинамічна модель процесу вихрострумовевого контролю, яка дозволяє обчислити модельне значення ЕРС перетворювача в точках плану. Циліндрична котушка [6] збудження ВСП розміщена над магнітним та струмопровідним півпростором, котрий асоціюється із ОК. Вона має прямокутний переріз кінцевих розмірів. Збудження електромагнітного поля відбувається синусоїдальним струмом  $I$ , що змінюється з кутовою частотою  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ . Поле є квазістаціонарним, тобто хвильовими процесами у повітрі нехтуємо. Струми зміщення у ОК ігноруються внаслідок їх зневажливо малих значень у порівнянні із струмами провідності. Котушка збудження характеризується однорідною густиною струму по перерізу  $i0$  та має число витків  $W$ . ОК вважається умовно багатощаровим, що дозволяє спростити представлення неперервних розподілів  $\sigma(z)$  та  $\mu(z)$  їх кусково-постійними апроксимаційними аналогами із  $L$  дискретних відліків. Закони розподілу фізичних параметрів ОК рахуються відомими та визначеними попередньо експериментально [7]. Математична модель створювалася при допущеннях щодо лінійності, ізотропності та однорідності середовищ. Для подальших досліджень внаслідок її універсальності та зручності використання для будь-якої кількості умовних шарів було обрано найвідомішу за популярністю аналітичну електродинамічну модель Uzal-Cheng-Dodd-Deeds [7, 8] в матричному формулюванні у модифікованому Theodoulidis [9] вигляді.

Верифікація розрахунків за «точною» моделлю виконувалася в роботах авторів [6, 10], де результати обчислень за створеним програмним забезпеченням у випадках дво- та тришарового умовного представлення ОК співставлялися із числовими розрахунками методом скінченних елементів та аналітич-

ними виразами, отриманими для цих простих ідеалізацій. Скорочення розмірності простору пошуку виконується на наступному кроці фреймворку. Метою цих перетворень є спрощення архітектури нейромережевої сурогатної моделі із одночасним спрощенням її навчання та підвищенням обчислювальної спроможності і покращення умов роботи оптимізаційного алгоритму. Скорочення виконується методом Kernel PCA [11, 12] стандартними для нього нелінійними перетвореннями із використанням ядерної функції Гауса. Спочатку дані плану експерименту проєціюються у простір значно більшої розмірності із отриманням ядерної матриці, де лінійно нероздільні у первинному просторі суттєво нелінійні дані мають значно більші можливості до визначення незалежних змінних із незначними втратами інформації внаслідок застосування лінійного PCA. Це забезпечує перехід у значно скорочений за розмірністю PCA-простір із характерними для нього перевагами.

На п'ятому етапі виконується створення нейромережевої сурогатної моделі. Після того, як необхідні експериментальні вимірювання виконано та обчислювальні моделі підготовлено важливо запровадити продуктивну стратегію оптимізаційного процесу у скороченому просторі пошуку. На цьому етапі для знаходження екстремуму цільової функції застосовувався стохастичний метаевристичний гібридний алгоритм глобальної оптимізації роєм часток PSO із еволюційним формуванням складу рою, що є низькорівневою гібридизацією із генетичним алгоритмом GA. Гібрид довів свою ефективність розв'язання багатьох практичних задач, наприклад, у [13, 14, 15].

Завершальний етап фреймворку передбачає проєціювання відшуканих профілів фізичних параметрів ОК у первинний простір. Зворотне перетворення здійснюється виконанням ітераційного процесу [16], який втілює відповідне відтворення та є можливим при застосуванні ядерної функції Гауса.

Продемонструємо основні етапи запропонованої методології на чисельних експериментах. Для їх проведення не потрібно виконання вимірювань ВСП. Отже, перший етап буде реалізовано із синтезованими даними, отримання яких передбачено далі на етапі створення сурогатної моделі.

На другому етапі для застосування електродинамічної моделі вважатимемо заданими її параметри: дискретизовані профілі ЕП  $\sigma_i(z)$  та МП  $\mu_i(z)$ ,  $i=1, \dots, L$ , де  $L=60$ ;  $f=2$  кГц,  $r_1=32$  мм,  $r_2=50$  мм,  $z_1=1$  мм,  $z_2=18$  мм,  $I=1$  А,  $W=100$ ,  $r=25$  мм,  $z=1$  мм,  $w_{tes}=50$ . Оскільки для моделювання обмежилися тільки двома основними факторами, тому для реалізації однорідного квазі-плану експерименту задіяно комбінацію ЛПт-послідовностей  $\xi_1$ ,  $\xi_6$ . Створення дискретизованих профілів на основі цього плану буде наведено згодом. Кількість семплів складала  $N=2820$ . Однорідність ПЕ в одиничному квадраті підтверджені двовимірною гістограмою та діаграмою Вороного [4, 5]. Надалі масштабуванням здійснено перехід до розмірів реального простору. Детальніше зупинимось на цьому. Зона проникнення електромагнітного поля всередину ОК визначається параметром  $D=3 \times 10^{-4}$  м. До зміни мікроструктури ОК характеризується постійними значеннями ЕП  $\sigma_{deep}$  та МП  $\mu_{deep}$ . Коли ОК піддається впливу будь-якого із фізичних факторів (температури, деформації тощо) значення ЕП та МП максимально змінюються на поверхні до  $\sigma_{surf}$  та  $\mu_{surf}$  залишаючись незмінними на деякій глибині зони. Із-за впливу неконтрольованих фізичних факторів вважатимемо, що значення  $\sigma_{surf}$  та  $\mu_{surf}$  можуть змінюватися в деяких апріорі визначених границях, наприклад в межах  $\pm 15\%$ . Тоді профілі характеризуються значеннями ЕП  $\sigma_{deep}=2 \cdot 10^6$  См/м,  $\sigma_{surf}=9.2 \cdot 10^6$  См/м та МП  $\mu_{deep}=10$ ,  $\mu_{surf}=29.78$ , в межах яких вони змінюються у відповідності до встановлених закономірностей, визначених попередньо. Числові значення електрофізичних параметрів  $\mu_{surf}$  та  $\sigma_{surf}$  на поверхні ОК в точках ПЕ спроектованих

масштабуванням в реальний факторний простір та із врахуванням зазначених границь діапазони зміни параметрів ЕП на поверхні ОК будуть  $7.82 \cdot 10^6 \leq \sigma_{surf} \leq 10.1 \cdot 10^6$  См/м, а МП  $24.531 \leq \mu_{surf} \leq 35.028$ , причому  $\sigma_{deep}$  та  $\mu_{deep}$  є незмінними на глибині зони проникнення поля для будь-яких профілів. Під час моделювання закони розподілу фізичних параметрів ОК вважатимемо відомими та визначеними попередньо [7], а саме ЕП - «експонента», МП - «гаусіан». Тоді в зазначених граничних межах зміни електрофізичних параметрів в реальному проектному просторі здійснено обчислення розподілів ЕП та МП для всіх семплів ПЕ із дискретизацією на зазначену кількість умовних шарів. В результаті отримано масив даних в повному факторному просторі розміром  $N \times 2L$ , тобто розмірність факторного простору складає 120, що є досить суттєвим.

Третій етап передбачає розрахунок модельного значення ЕРС  $e_{mod}$  перетворювача в точках сформованого плану із застосуванням високозатратної електродинамічної моделі.

На четвертому етапі для скорочення розмірності простору пошуку застосовано метод Kernel PCA. Для його реалізації виконано низку математичних перетворень: по-перше, спочатку виконано перехід із оригінального простору ознак у допоміжний високорозмірний простір проєціюванням ПЕ із розмірності  $D$  в розмірність  $N$  за допомогою гаусівського ядра [34]. В результаті отримується ядерна матриця  $K$  схожості розмірністю  $N \times N$ . По-друге, застосовано операцію центрування [16] до ядерної матриці та отримано матрицю Грама. По-третє, проведено стандартний лінійний PCA до даних матриці Грама, що передбачає сингулярний розклад SVD [17]. В результаті чого маємо матриці власних векторів та діагональну матрицю, яка містить власні значення, а точніше сингулярні числа, квадрати яких є власними значеннями. Ранжування власних значень за напрямком зменшення  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N \geq 0$ , за яким

визначаються власні вектори для скороченого простору. Відбираємо перші  $M$  власних векторів за умови  $M < D$ . В результаті відібрано перші 15 власних векторів, сингулярні числа яких перевищують 1. Отримана скорочена матриця власних векторів розмірністю  $N \times M$  з елементами  $g_{ij}$ . Отож, скорочення розмірності здійснюється просціюванням вихідних даних на 15 обраних головних компонентів.

На наступному етапі виконується створення нейромережових сурогатних моделей [18, 19, 20] на основі глибоких ANN, для яких виходами кожної з двох мереж є відповідно дійсна та уявна частини сигналу перетворювача, а входами – семпли скороченої матриці власних векторів. Поділ зразків у вибірці виконано у співвідношенні: 80% на навчання НМ, на тестування та крос-валідацію по 9.5%. Дані одного відсотку зразків не приймали участі у навчанні, проте в подальшому деякі з них використовувалися як синтезовані для перевірки достовірності розв'язку оберненої задачі реконструкції профілів.

В результаті отримано дві нейронні мережі, кожна із яких характеризується архітектурою з чотирьох прихованих шарів Re-MLP-14-9-9-7-1 та Im-MLP-15-13-10-9-1. При цьому в кожному прихованому шарі застосовувалися функції активації гіперболічного тангенсу, а в вихідному шарі – лінійна. Валідність отриманих метамоделей оцінено візуально гістограмами залишків, нормально-ймовірнісними графіками залишків, діаграмами розсіювання та діаграмами розмаху. Окрім цього, чисельно їх валідність підтверджується малими значеннями похибки  $MARE_{\text{metamod}}$ , %.

Завершальним кроком цього етапу є перевірка адекватності та інформативності створених метамоделей за критерієм Фішера на основі наступних показників: суми квадратів та середнього квадрату регресії, залишків та загального при рівні значущості 5% [21]. Обидві створені метамоделі є адекватними, оскільки розрахункові модельні значення критерію Фішера для них значно

перевищують його критичне значення. Так метамоделі Re-MLP-14-9-9-7-1 має значення показника Фішера  $F_{15;2804}^{\text{total}} = 1.5 \cdot 10^9$ , а критичне значення цього критерію з рівнем значущості  $\alpha = 5\%$  та числом степенів свободи  $\nu_R = 2804$ ,  $\nu_D = 15$  складає  $F_{0,05;15;2804}^{\text{table}} = 1.67$ , що задовольняє умові адекватності. Для метамоделі Im-MLP-15-13-10-9-1 умова адекватності за цим критерієм також виконується, оскільки  $F_{15;2804}^{\text{total}} = 2.39 \cdot 10^8$ . Коефіцієнт детермінації для обох метамоделей  $R^2 = 0.999$ , що вказує на їх високу інформативність.

Отже, обчислювальні моделі можуть бути залучені до виконання оптимізаційного процесу в скороченому просторі пошуку, що дозволяє реалізувати наступний етап. Для перевірки достовірності розв'язку оберненої задачі реконструкції профілів було використано синтезовані дані, які були зарезервовані на етапі побудови метамоделі. Внаслідок їх властивостей для оптимізації доцільно використовувати метаевристичні алгоритми. Отже, розв'язок оберненої задачі для трьох тестових зразків здійснено із застосуванням стохастичного метаевристичного гібридного алгоритму глобальної оптимізації [13, 14, 15]. Цільова функція мінімізується в результаті зіставлення теоретичного та синтезованого сигналів ВСП. Тобто здійснено серію із декількох стартів алгоритму оптимізації та одержано вектори розв'язків у скороченому просторі, результати яких усереднено. По суті застосовано техніку мультистарти, що дозволило підвищити точність розв'язку.

Завершальний етап – це просціювання відшуканих профілів фізичних параметрів ОК у первинний простір за допомогою ітераційного зворотного перетворення Kernel PCA [16]. Отже, маємо фактичний розв'язок оберненої задачі відшукування фізичних властивостей в початковому просторі. Точність цього розв'язку оцінено значеннями абсолютної похибки визначення компонентів векторів шуканих параметрів за умови відомих векторів розв'язку  $\mu_{\text{test}}$  та  $\sigma_{\text{test}}$ . Для



трех тестових прикладів обчислені значення цих похибок для профілів ЕП та МП відповідно для кожного умовного шару.

**Висновки.** Привабливим результатом числових експериментів є скорочення простору пошуку більш ніж на 85 %, що дозволило перейти від розмірності первинного простору 120 до скороченого із розмірністю 15. Це вдалося завдяки нелінійним перетворенням із використанням Kernel-PCA та ядерної функції Гаусса з аналізом власних значень отриманої матриці Грама і обмеженням на кількість головних компонент лінійного PCA при досягненні її власних значень рівня меншого за одиницю. Отримані результати підтвердили обґрунтованість такого істотного скорочення простору без суттєвої втрати інформації. Іншим показником, котрий вказує на ефективність запро-

понованого методу, є висока точність створених сурогатних моделей, що оцінена похибками  $\text{MARE}_{\text{metamod}}$  і складає  $0.318 \cdot 10^{-3}$  та  $1.65 \cdot 10^{-3}$  % відповідно. Такої точності метамodelей скороченої розмірності вдалося досягти завдяки використанню однорідного комп'ютерного ПЕ та мереж глибокого навчання. Числовими показниками доведені адекватність та інформативність побудованих сурогатних моделей. Верифікація методу реконструкції фізичних властивостей об'єкту контролю здійснена на синтетично згенерованих даних (тестових зразках), які заздалегідь відомі. У результаті дослідження встановлено, що похибки  $\text{MARE}$  реконструкції профілів для тестових випадків у порівнянні з теоретичними розв'язками не перевищують 0.05%.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Liu, G. R., Han, X. (2003). *Computational inverse techniques in nondestructive evaluation*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203494486>
2. Sabbagh, H. A., Murphy, R. K., Sabbagh, E. H., Aldrin, J. C., Knopp, J. S. (2013). *Computational Electromagnetics and Model-Based Inversion*. NY, Springer-Verlag, USA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8429-6>
3. Cappelli, L., Balokas, G., Montemurro, M., Dau, F., Guillaumat, L. (2019). *Multi-scale identification of the elastic properties variability for composite materials through a hybrid optimisation strategy*. Composites Part B: Engineering, 176, 107193. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107193>
4. Halchenko, V., Trembovetska, R., Tychkov, V., Tychkova, N. (2023). *Construction of quasi-DOE on Sobol's sequences with better uniformity 2D projections*. Applied Computer Systems, 28 (1), 21-34. <https://doi.org/10.2478/acss-2023-0003>
5. Halchenko, V., Trembovetska, R., Tychkov, V., Storchak, A. (2020). *The construction of effective multi-dimensional computer designs of experiments based on a quasi-random additive recursive R-sequence*. Applied Computer Systems, 25 (1), 70-76. <https://doi.org/10.2478/acss-2020-0009>
6. Trembovetska, R., Halchenko, V., Bazilo, C. (2022, June). *Inverse Multi-parameter Identification of Plane Objects Electrophysical Parameters Profiles by Eddy-Current Method* [Paper presentation]. International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering, Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_19)
7. Uzal, E. (1992). *Theory of eddy current inspection of layered metals*. Iowa State University.
8. Theodoulidis, T. P., Kriezis, E. E. (2006). *Eddy current canonical problems (with applications to nondestructive evaluation)*.
9. Halchenko, V., Trembovetska, R., Bazilo, C., Tychkova, N. (2022, June). *Computer Simulation of the Process of Profiles Measuring of Objects Electrophysical Parameters by Surface Eddy Current Probes* [Paper presentation]. International Scientific-Practical Conference"

- Information Technology for Education, Science and Technics", Cham: Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0_25)
10. Raschka, S., & Mirjalili, V. (2019). *Python machine learning: Machine learning and deep learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow 2*. Packt publishing ltd.
  11. Scholkopf, B., Smola, A. J. (2018) *Learning with kernels: support vector machines, regularization, optimization, and beyond*. MIT press.
  12. Halchenko, V. Y., Trembovetska, R. V., Tychkov, V. V. (2021). *Synthesis of eddy current probes with volumetric structure of the excitation system, implementing homogeneous sensitivity in the testing zone*. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 3, 10-18. <https://doi.org/10.15407/techne2021.03.010>
  13. Halchenko, V. Y., Trembovetska, R., Tychkov, V. (2021). *Surrogate synthesis of frame eddy current probes with uniform sensitivity in the testing zone*. *Metrology and measurement systems*, 28 (3). <https://doi.org/10.24425/mms.2021.137128>
  14. Halchenko, V. Y., Trembovetska, R. V., & Tychkov, V. V. (2021). *Surrogate synthesis of excitation systems for frame tangential eddy current probes*. *Archives of electrical engineering*, 70 (4), 743-757. <https://doi.org/10.24425/ae.2021.138258>
  15. Wang, Q. (2012). Kernel principal component analysis and its applications in face recognition and active shape models. arXiv preprint arXiv:1207.3538. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1207.3538>
  16. Halchenko, V. Y., Trembovetska, R., Tychkov, V., Tychkova, N. (2024). *Surrogate methods for determining profiles of material properties of planar test objects with accumulation of apriori information about them*. *Archives of Electrical Engineering*, 183-200. <https://doi.org/10.24425/ae.2024.148864>
  17. Halchenko, V., Trembovetska, R., Tychkov, V., Sapogov, M., Gromaszek, K., Smailova, S., Luganskaya, S. (2021). *Additive neural network approximation of multidimensional response surfaces for synthesis of eddy-current probes*. *Przegląd elektrotechniczny*, 97 (9), 46-49. <https://doi.org/10.15199/48.2021.09.10>
  18. Halchenko, V. Y., Trembovetska, R. V., Tychkov, V. V. (2019). *Development of excitation structure RBF-metamodels of moving concentric eddy current probe*. *Electrical engineering & electromechanics*, 28-38. <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2019.2.05>
  19. Halchenko, V. Y., Storchak, A. V., Trembovetska, R. V., Tychkov, V. V. (2020). *The creation of a surrogate model for restoring surface profiles of the electrophysical characteristics of cylindrical objects*. *Ukrainian Metrological Journal*, 3, 27-35. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3.2020.216824>
  20. Halchenko, V. Y., Trembovetska, R., Tychkov, V. V. (2018). *The neurocomputing using of the development metamodels stage in the optimal surrogate antennas synthesis process*. *Visnyk NTUU KPI Serii A-Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, 74, 60-72. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2018.74.60-72>

Тичков, В.В., Трёмбовецька, Р.В., Тичкова Н.Б., Гальченко, В.Я., (30-31 травня 2024). *Непрямі вимірювання фізичних властивостей плоских провідних виробів вихрострумовим методом* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна. ※

Tychkov, V.V., Trembovetskaya, R.V., Tychkova, N.B., Halchenko, V.Ya., (2024, May 30-31). *Indirect measurements of physical properties of flat conductive products by eddy current method* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.

## ENTERPRISE RESOURCE PLANNING (ERP)-СИСТЕМИ В УКРАЇНІ, ПОТОЧНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

ERP-система, ІС,  
штучний інтелект (ШІ)

ERP system, IC, artificial  
intelligence (AI)

### АВТОРИ

**Андрієнко Олександр Миколайович**, здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Колеснікова Катерина Вікторівна**, д-р техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

У тексті підкреслюється важливість створення української ERP-системи, яка б задовольняла актуальні потреби бізнесу.

### ABSTRACT

The article emphasises the importance of creating a Ukrainian ERP system that would meet the current needs of business..

ERP (Enterprise Resource Planning) — це система автоматизації бізнес-процесів підприємства. Вона надає цифрове, інтегроване відображення всіх процесів у компанії, включаючи виробництво, закупівлі, фінанси, продажі та кадри. ERP дозволяє оперативно та ефективно керувати процесами, реагувати на зміни та іноді передбачати їх.

Згідно інформації з відкритих джерел станом на 2014 рік на українському ринку ERP-систем впевнено домінували продукти російської компанії «1С». Навіть станом на 2023 рік по різним оцінкам від 50% до 70% українського бізнесу досі працює використовуючи цю ERP-систему.

Продовження використання «1С» в Україні створює, суттєві безпекові ризики витоку конфіденційної фінансової інформації, операційні ризики безпосередньо для підприємств, ризик припинення оновлень, та власне незаконність використання цього ПЗ через тотальне блокування на рівні держави.

Офіційно «1С» в Україні заборонена Указом Президента від 16 квітня 2016 року. Згідно указу з метою національної безпеки ряд компаній з російським капіталом попадають під санкції, що унеможливує їх роботу на території України. Але завдяки створенню «1С» європейської дочірньої компанії-розробника BAS санкції вдалося

обійти і станом на березень 2023 року близько 300 українських ФОПів займаються розповсюдженням і підтримкою продуктів «1С» в Україні.

Згідно з оцінками Олег Щербатенко директора українського розробника ERP-систем IT-Enterprise темпи міграції – 10 000 – 15 000 компаній, що за рік війни перейшли на українське програмне забезпечення. Враховуючи, що, згідно даним Держкомстат на початок 2023-го нараховувалось в Україні близько 660 000 активних підприємств. Такі темпи відмови від російської ERP-системи недостатні для забезпечення безпеки українського бізнесу та не сприяє руху Європейського Союзу.

Варто зазначити, що на українському ринку є як достатня кількість внутрішньо розроблених продуктів, а так є аналоги від західних компаній.

Давайте спочатку розглянемо українське програмне забезпечення. Серед програм для обліку виділяють:

– «MASTER:Бухгалтерія», підходить як для державних установ, так і для приватних компаній різного розміру. У програмі є модулі для обліку виробництва, автотранспорту, харчових продуктів, лікарських засобів, агропрямую, ЖКГ, контрактно-договірною обліку, підтримка

повноцінного аналітичного обліку. У програмі можна використовувати вже інтегрований сервіс електронного документообігу Signy.

- ISpro – це програмне забезпечення для обліку й управління компаніями й бюджетними організаціями. Це гнучка система-конструктор, у якій замовник може вибрати потрібні модулі й автоматизувати вибрані робочі процеси.
- «Дебет Плюс» – це українське програмне забезпечення, що допомагає автоматизувати бухгалтерський облік та фінансову звітність. Найчастіше програму використовують у закладах охорони здоров'я.
- «А5» – це програмний комплекс, що забезпечує бухгалтерський облік, а також облік зарплати й персоналу бюджетних установ. Його розробила українська компанія А5 Systems.
- Dilovod – це Український сервіс, де можна вести облік та подавати звіти. Його можуть використовувати ФОПи з найманими працівниками та без, інтернет-магазини, виробництва тощо. Ще тут є програмний PPO, CRM-система.

Але наразі ці продукти не є повноцінними ERP-системами і не можуть повністю замінити функціонал «1С». Але основний плюс цих рішень, це їх доступність, відносна легкість у інтеграції і невисока ціна за користування.

Український бізнес також може скористатися рішеннями лідерів світового ринку, таких як SAP, Oracle, Microsoft Dynamics 360 тощо. Але ці продукти значно важче інтегрувати і вартість інтеграції може бути доступною тільки великим підприємствам. Процес налаштування може тривати роками і потребувати суттєвих зусиль і коштів зі сторони бізнесу.

Окремим питанням залишається успішність застосування штучного інтелекту (ШІ) в ERP-системах. ШІ в ERP вчиться на інформації, яку надають користувачі. Він надає інтелектуальну інформацію, використовуючи можливості, такі як прогнозна та розширена аналітика. Це допомагає підприємствам покращити обмін даними, стандартизувати процеси та оптимізувати аналіз даних у реальному часі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wezom. Функції ERP системи для підприємств. (03 листопада 2023). <https://wezom.com.ua/ua/blog/funktsiyi-erp-sistemi-dlya-pidprijemstv>
2. Кондратович, М. Український ринок ERP-систем: переваги та недоліки 12 популярних рішень. (21 червня 2022). <https://dou.ua/forums/topic/38715/>
3. Обухов, Д. 1С – це Франкенштейн у світі ERP, пора від нього відмовитись. (28 червня 2023). <https://dou.ua/forums/topic/44033/>
4. Чепур, Д. Штраф до 13 млн грн. Депутати пропонують штрафувати за використання «1С». Чим замінити російський софт для бізнесу. Forbes. (27 жовтня 2023). <https://forbes.ua/innovations/ukrainskiy-biznes-prograe-viynu-rosiyskomu-softu-yaki-shansi-shcho-1s-ta-inshi-programi-zniknut-boday-kolis-22032023-12531>
5. Чепурко, Г. Чим замінити російський «1С»? Огляд українських програм для бухгалтерів. MC.Today. (05 квітня 2022). <https://mc.today/uk/chim-zaminiti-rosijskij-1s-oglyad-ukrayinskih-program-dlya-buhgalteriv/>

Андрієнко О.М., Колеснікова К.В. (30-31 травня 2024). *Enterprise resource planning (erp)-системи в Україні, поточний стан та перспективи розвитку* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Andrienko O.M., Kolesnikova K.V. (May 30-31, 2024). *Enterprise resource planning (erp) systems in Ukraine, current state and development prospects* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.



## Н-ГРАННА СХЕМА ОЦІНКИ ВІДМОВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ "ЛЮДИНА- ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ- СЕРЕДОВИЩЕ"

оцінка ризиків, відмови систем,  
методи аналізу, експертна оцінка,  
FMEA, діаграми Ішікави

risk assessment, system failures,  
analysis methods, expert assessment,  
FMEA, Ishikawa diagrams

### АВТОРИ

**Засядько Аліна Анатоліївна**, науковий співробітник, д-р техн. наук, професор, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси

**Литовченко Володимир Володимирович**, молодший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси

**Підгорний Микола Володимирович**, канд. техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

Кожна складова інформаційної системи "Людина-транспортний засіб-середовище" (ІС "Л-ТЗ-С"), функціонує як специфічна відокремлена система. Вона, в свою чергу, складається з унікальних підсистем нижчого рівня, зі своїми конкретними призначеннями та функціями і з притаманними тільки цим підсистемам формами прояву відмов у функціональності. Але об'єднуючись в одну систему, виникають причини формування нового виду відмов складових, тобто проявляється властивість емерджентності. Тому необхідно виявити причини виникнення відмов наново сформованої системи та оцінити рівень впливу на синтезовану систему. Оцінювання, наведене в публікації, проводилось шляхом співставлення результатів опитування групи респондентів та висновків експертів у автомобілебудівній галузі [1].

### ABSTRACT

Each component of the information system "Human-Vehicle-Environment" (IS "H-C-S") functions as a specific, separate system. It, in turn, consists of unique lower-level subsystems with their own specific purposes and functions, exhibiting forms of functionality failures unique to these subsystems. However, when combined into one system, causes for the formation of a new type of component failures arise, exhibiting the property of emergence. Therefore, it is necessary to identify the causes of failures in the newly formed system and assess the level of impact on the synthesized system. The evaluation presented in the publication was conducted by comparing the results of surveys of a group of respondents and the conclusions of experts in the automotive industry [1].

В публікації розглянуто комплексний підхід аналізу причин та наслідку відмов (Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)) [2] ІС "Л-ТЗ-С" з застосуванням діаграм Ішікави. При реалізації інформаційно-обчислювальної системи (ІОС) обробки сигналів керування транспортного засобу (ТЗ), на систему діють фактори, які призводять до відмов. Надано схему знаходження взаємозв'язків причин виникнення відмов в ІОС на різних рівнях передачі керуючого сигналу ІС "Л-ТЗ-С". Вагомим результатом досліджень є нова структура рівнів ІОС. Надано рекомендації щодо комплексної кількісно-якісної оцінки причин відмов та ризиків ІС "Л-ТЗ-С".

При створенні ІОС основною задачею є реалізація надійного взаємозв'язку між людиною та ТЗ [3]. Тому залежність процесу керування автомобілем від психофізіологічного стану водія створює труднощі у вирішенні цієї задачі (див. рис. 1). Усунення цієї залежності треба шукати на шляху автоматизації руху автомобіля, зберігаючи при цьому право на прийняття пріоритетних рішень водієм.

На рисунку 1 ІОС розподілена на рівні передачі сигналів, що вирішують власні певні задачі. Тактичний рівень відповідає за збереження безпечної дистанції, контроль швидкості і траєкторії руху автомобіля. Кожне з цих завдань можна розбити на

простіші, ієрархічно пов'язані підзадачі. На найнижчому рівні ієрархії знаходяться: контроль швидкості, гальмівний контроль і рульове управління. Середній рівень ієрархії дозволяє вирішувати проблеми контролю швидкості і напрямку руху автомобіля. Найвищий рівень ієрархії вирішує проблеми контролю бічного зсуву автомобіля відносно заданої траєкторії і дистанційного контролю до автомобіля попереду. На тактичному рівні управління надається інформація про обмеження швидкості, безпечну відстань до автомобіля і потрібну траєкторію.

Операційний рівень вирішує проблеми, пов'язані з безпечним моніторингом за заданим маршрутом руху. Він несе відповідальність за прийняття рішення, щодо обгону ТЗ попереду, аналізу дорожньої обстановки, прийняття рішення про зміну смуг руху, зміни швидкості і безпечної відстані до ТЗ попереду. Стратегічний рівень відповідає за планування оптимального маршруту руху при бажаних межах часу в дорозі та витрат на паливе і встановлення швидкісних обмежень тощо. При цьому, в будь-який момент часу водій може втрутитись в процес керування ТЗ.



Рис. 1. Структурна схема розподілу сигналів керування транспортного засобу.

Автори пропонують діаграму впливу факторів (рис. 2), яка побудована на основі діаграми Ішікави, згорнути до проблеми (П) рівнями ІОС. При такому відтворенні діаграма набуває вид багатогранника (рис.3). Вершинами цієї фігури виступають фактори впливу рівнів ІОС на роботоздатність ТЗ. В центрі фігури описана або вказана проблема. Запропонований спосіб надає змогу експерту

у визначенні та оцінці відмов поєднувати причини походження декількох проблем. Тим саме, виявляти зв'язки між проблемами. Якщо поєднувати декілька багатогранників рівнями, то утворюється багаторівнева матриця класифікації ризиків [4]. При такому підході вибірково виділяються споріднені RPN різноманітних факторів.



Рис. 2. Діаграма впливу факторів на відмови функціонування ТЗ

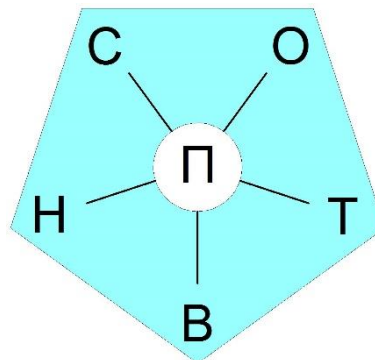


Рис. 3. Структурна схема розподілу сигналів керування транспортним засобом.

Комплексний підхід аналізу причин та наслідків відмов з застосуванням діаграм Ішікави надає можливість експерту з оцінки умов виникнення відмов та рівня ризиків діяльності ІС «Л-ТЗ-С» отримати кількісну та якісну оцінку подій та їх наслідків. Завдяки отриманим оцінкам, експерт має змогу супроводжувати ІС «Л-ТЗ-С» на всіх етапах життєвого циклу, з подальшим удосконаленням та корегуванням. Такий підхід формує основи створення ефективної автоматизованої системи керування ТЗ.

При комбінації FMEA та діаграм Ішікави, відпадає потреба в додаткових методах статичного аналізу результатів, таких як «мозковий штурм». Зменшується час на обробку результатів оцінювання. Об'єктивно надається оцінка експертом вже за проведеними попередніми дослідженнями ІС «Л-ТЗ-С». При побудові діаграми у виді багатогранника візуально відображаються як причини, так і наслідки ймовірних проблем при проектуванні та застосуванні ІС «Л-ТЗ-С».

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lytovchenko, V., Pidhornyy, M. (2023). Optimization of the Communicative Process in the System "Driver-Vehicle-Environment". In: Faure, E., Danchenko, O., Bondarenko, M., Tryus, Y., Bazilo, C., Zaspas, G. (eds) Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 178. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0_20);
2. IEC 60812:2006. Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).
3. ISO/TS16949 Quality management system. – Particular requirements for the application of ISO9001:2008 for automotive production and relevant service part organization.
4. "Risk, Issue, and Opportunity Management Guide for Defense Acquisition Programs" (PDF). United States Department of Defense. (January 2017). <https://web.archive.org/web/201707-RIO.pdf#page=36>.

Засядько А.А., Литовченко В.В., Підгорний М.В. (30-31 травня 2024). *N-гранна схема оцінки відмов інформаційної системи "людина-транспортний засіб-середовище"* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Zasiadko A.A., Lytovchenko V.V., Pidhornyi M.V. (2024, May 30-31). *N-faceted scheme of failure assessment of the human-vehicle-environment information system* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.



## КООРДИНАТНЕ РОЗТАШУВАННЯ ДАТЧИКА У РІЗАЛЬНОМУ ІНСТРУМЕНТІ

різальний інструмент, контроль,  
торкання

cutting instrument, control, touch

### АВТОРИ

*Діордіца Ірина Миколаївна, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ*

*Іваненко Руслан Олександрович, ст. наук. співробітник, Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз, м. Київ*

### АНОТАЦІЯ

*Розглянуто математичне дослідження яке доводить, необхідність розташування датчика у напрямку максимальної дії віброакустичної хвилі в масі різального інструменту для отримання ефективного інформаційного сигналу з зони металообробки*

### ABSTRACT

*Mathematical research which leads to is considered in the article, necessity of location of sensor in the direction of maximal action of vibroacoustic wave in-bulk toolpiece for the receipt of effective informative signal from the area of metal-workingness.*

Технологічні процеси лезової обробки металів різанням, як і всі подібні, мають яскраво означений виток вібраційних та акустичних енергетичних потоків [1-3]. Попре велике використання подібних ще і досі оптимальність розташування перетворювача на тілі інструменту, або деталі є не визначеним, адже саме за цього розташування залежить якість процесу контролю.

По перше загальнотеоретичні підгрунтя розповсюдження звукової хвилі у масі інструмента, або деталі. В більшості випадків розміри ультразвукових випромінювачів порівнянні з довжиною хвилі звуку в середовищі. Тому випромінювана ними звукова енергія в тій чи іншій мірі концентрується в певному напрямі. Якщо уявити собі дуже велику сферичну поверхню з випромінювачем в центрі, то звуковий тиск на цій поверхні буде різним у різних напрямках. Відносне значення звукового тиску, виражене у функції азимутального кута, називається характеристикою спрямованості.

При використанні ультразвукового перетворювача для прийому звукового сигналу його чутливість залежить від напрямку надходження хвилі. Спрямованість

прийому ультразвуку іноді виявляється ефективним засобом виділення корисного сигналу на випадковому шумовому фоні. Оскільки випромінювання і прийом звуку взаємно обернені, спрямованість визначеного перетворювача по прийому і по випромінюванню однакова.

Ця задача є досить складна, оскільки існує велика кількість інструменту саме за геометричною конфігурацією, а це вимагає досить складного вирішення цієї проблеми. Основним чинником подібної ситуації є стала конструкція різального інструменту яка не міняється десятиліттями та абсолютно не пристосована до встановлення на ньому перетворювачів контролю металообробки.

Віддаленість площини базування перетворювача від вершини інструменту -  $l_k$

$$l_k = \frac{\rho}{\sqrt{\sin \frac{\xi}{2} \cdot \sin \frac{\eta}{2}}}, \quad l_k = \frac{\rho}{\sqrt{\sin \frac{\eta}{2} \cdot \sin \frac{\sigma}{2}}},$$

$$l_k = \frac{\rho}{\sqrt{\sin \frac{\sigma}{2} \cdot \sin \frac{\xi}{2}}},$$

де,  $\rho$  – радіус п'єзоелектричного елемента;  
 $\xi, \eta, \sigma$  – кути між робочими гранями інструменту.

Отже при розгляді залежностей можна дійти до висновку, є зв'язок між віддаленістю

площини базування перетворювача ( $l_k$ ) та кутами між робочими гранями інструмента ( $\xi, \eta, \sigma$ ).

Визначено основні математичні основи стосовно розташування віброакустичного елемента у масі різального інструменту. На основі розглянутих фізико-математичних засад розроблено загальну концепцію розташування перетворювача в тілі різального інструменту. Це надало можливість конкретизувати координати розташування перетворювача в тілі різального інструменту. Як наслідок цього вдалося зв'язати в одне ціле конструкцію різального інструменту і координати розташування перетворювача для досягнення

максимального ефекту визначення моменту торкання. Розглянуто фізико-математичну модель розповсюдження віброакустичного сигналу. Це дало можливість побудувати теоретичні засади щодо координат розташування перетворювача в тілі різального інструменту.

Розглянуті позиції розташування перетворювача вказують на те, що необхідно розробляти нову конструкцію різального інструменту, який буде виконувати не тільки процес металообробки, але і забезпечувати процес контролю, що дозволить значно розширити його технологічні можливості.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тимчик, Г.С., Скицюк, В.І., Вайнтрауб, М.А., Клочко, Т.Р. (2008). *Відчутники контрольної-вимірної систем*, Київ, НТУУ «КПІ».
2. Скицюк, В.І., Діордіца, І.М., Науменко, В.І. (2005). *Вимірювання форми деталі за статичного розташування та лінійного детермінованого руху різального інструмента*. Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування, 29, 69-76.
3. Скицюк, В.І., Махмудов, К.Г., Клочко, Т.Р. (1993). *Технологія ТОНТОР*. Київ, Техніка.

Діордіца І.М., Іваненко Р.О. (30-31 травня 2024). *Координатне розташування датчика у різальному інструменті* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Diorditsa I.M., Ivanenko R.O. (2024, May 30-31). *Coordinate position of the sensor in the cutting tool* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## IMPROVEMENT OF THE METHOD OF DOUBLE-DRIFT GaP STRUCTURES FORMATION FOR THz RADIATION SOURCES

джерело терагерцового випромінювання, фосфід галію, подвійна дрейфова структура, IMPATT діод, рідиннофазна епітаксія

THz radiation source, gallium phosphide, double-drift structure, IMPATT diode, liquid-phase epitaxy.

### АВТОРИ

*Demenskiy O. M.*, Junior Researcher V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Department of Optoelectronics, Kyiv

*Yerochin S. Yu.*, Researcher V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Department of Optoelectronics, Kyiv

*Krasnov V. A.*, Ph. D., Senior Researcher V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Department of Optoelectronics, Kyiv

*Shutov S. V.*, Ph. D., Senior Researcher V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Department of Optoelectronics, Kyiv

### АНОТАЦІЯ

Запропоновано спосіб зниження струмів витоку подвійних дрейфових структур IMPATT GaP діодів. Показано, що ефект зниження струмів витоку досягається при додаванні в ростовий розчин-розплав Al, що сприяє утворенню твердого розчину AlGaP малих складів. Наведено результати порівняльних досліджень основних параметрів дослідних зразків ТГц діодів. Відзначено перспективність методу для приладових структур широкозонних напівпровідників АЗВ5 різноманітних застосувань

### ABSTRACT

We proposed the method of leakage current decrease in double-drift structures of IMPATT GaP diodes. It has been shown in the work that the effect of leakage current decrease is achieved when adding aluminum into the growth solution-melt, which facilitates the formation of AlGaP solid solution with low Al content. The results of comparative study of basic parameters of THz diode pilot samples are presented. The prospects of the method for the device structures based on wide bandgap III-V semiconductors intended for different applications have been highlighted..

Investigation of devices and instruments, including semiconductor device structures, for generation and detection of radiation in THz spectrum range is of great importance for both: fundamental science development as well as solving applied problems of medical diagnostics, vision through walls etc. [1, 2].

Presently one of the primary trends in the engineering and technology of THz range devices is connected with an increase of generated power. Earlier it was shown [3, 4] that there were promising sources which had been realized as IMPATT diodes based on wide bandgap semiconductors, particularly on GaP. It is considered that such an approach will allow to design THz diodes and other devices of increased power that would be able to operate at the near room temperatures and above.

THz range IMPATT diodes based on GaP are formed using n+-n-p-p+ structures of double-

drift type [5], which allows to achieve an optimal ratio between the expenses level and the attainable diode parameters [6, 7]. The method applied in work [7] for obtaining n+-n-p-p+ GaP structures allows to improve significantly the layers' stoichiometry and, consequently, the diode parameters. However, with the temperature increase above 150–180 K, the level of THz signal output power is decreased (below 0.5–0.7 W). The reason is the increase of diode intrinsic leakage currents with the temperature rise. This leads to the diode power decrease even in case of pulsed power supply of the device.

In this work, to reduce the leakage currents, the drift layers of n- and p-type were grown using liquid-phase epitaxy technique (see [7]). However, in this case the pure aluminum was added to the solution-melt in the amount that ensured formation of Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>P solid solution with AlP mole fraction  $x \leq 0.1-0.15$ . Here the

effect of the leakage currents reduction at the drift structure is achieved at the expense of both: the increase of layers' Eg, as well as the "deepening" of basic background impurities in the wide bandgap semiconductor.

The study of pilot samples of diode n<sup>+</sup>-n-p-p<sup>+</sup> structures has shown the decrease of leakage current level by 2–4 orders of magnitude at the room temperature and by 3.0–5.5 orders of magnitude at the temperature 180–250 K (as compared with the data in [7]). At the same time the output power of the devices measured at generation frequency (0.25±0.05) THz has made

□ 0.75–0.85 W. The pilot samples also possessed an improved thermal stability of their parameters in the temperature range 150–250 K.

The preliminary development works have shown that the technological method used in the present work for the improvement of GaP device structures could be applied to another wide bandgap III-V semiconductors as well, in particular to the diode structures of semiconductor nitrides regardless of the operating mechanism of the device.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shur, M. (2005). *Terahertz technology: devices and applications*. Proceedings of ESSCIRC, Grenoble, France.
2. Pickwell, E. & Wallace, V. P. (2006). *Biomedical applications of terahertz technology*. J. Phys. D: Appl. Phys., 39, R301–R310.
3. Yuan, L., Cooper, J. A., Melloch, M. R., Webb, K. J. (2001). *Experimental demonstration of a silicon carbide IMPATT oscillator*. IEEE Electron Device Lett., 22 (6), 266–268.
4. Vassilevski, K. V., Zorenko, A. V., Zekentes, K., Tsagaraki, K., Bano, E., Banc, C. & Lebedev, A. A. (2002). *4H-SiC IMPATT Diode Fabrication and Testing*. Mater. Sci. Forum, 389-393, 1353-1358.
5. Acharyya, A., Biswas, A., Sarkar, B., Banerjee, A. & Inokawa, H. (2021). *Terahertz Radiation from Gallium Phosphide Avalanche Transit Time Sources. Emerging Trends in Terahertz Engineering and System Technologies: Devices, Materials, Imaging, Data Acquisition and Processing*, edited by A. Biswas, A. Banerjee, A. Acharyya, H. Inokawa. Springer, 2021, 49–58.
6. Acharyya, A. (2018). *Gallium Phosphide IMPATT Sources for Millimeter-Wave Applications*. Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering, 14 (2), 143–152.
7. Demenskyi, O. M., Yerochin, S. Yu., Krasnov, S. & Shutov, V. (2023). *The Method of Obtaining of Double-Drift GaP Structures for Terahertz Emitters*. X International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems–2023", 109–110.

Деменський, О. М., Єрохін, С. Ю., Краснов, В. А., Шутов, С. В. (30-31 травня 2024). Удосконалення методу формування подвійно-дрейфових GaP-структур для джерел ТГц випромінювання [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.  
 ※—————

Demenskyi, O. M. Yerochin, S. Yu., Krasnov, V. A., & Shutov, S. V., (2024, May 30-31). *Improvement of the method of double-drift gap structures formation for ThZ radiation sources* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.



## GAS TURBINE TECHNICAL CONDITION CONTROL SYSTEM HEAT ENGINE

*компресор, камера згоряння, газова турбіна, термодинамічна модель, алгоритм, ідентифікація, параметри стану*

*compressor, combustion chamber, gas turbine, thermodynamic model, algorithm, identification, state parameters.*

### АВТОРИ

*Kartal Kaan, holder of the educational and professional level of a bachelor, National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv*

*Lobunko Oleksandr, candidate of technical sciences, associate professor, National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv*

### АНОТАЦІЯ

*Умови і час експлуатації, теплотехнічний стан газотурбінних установок можуть істотно відрізнятися від показників середньостатистичного об'єкта. Досліджено підходи індивідуального термодинамічного моделювання параметрів стану газотурбінних систем та методи оцінки деградації характеристик у часі. Наведено результати розрахунково-експериментальних досліджень можливого впливу зміни стану характеристик вузлів двигуна на тепловий стан елементів ГТУ. Запропоновано алгоритм знаходження найкращого поєднання параметрів характеристик стану вузлів термодинамічної моделі газотурбінної системи за допомогою квазіньютонівського методу та кінцево-різницевого градієнта. Система управління газовими турбінами дозволяє оперативно виявляти неполадки і своєчасно вживати заходів щодо їх усунення, що скорочує час і витрати на обслуговування.*

### ABSTRACT

*Conditions and time of operation, thermal and technical condition of gas turbine systems may differ significantly from the indicators of an average statistical object. The approaches of individual thermodynamic modeling of the state parameters of gas turbine systems and methods of evaluating the degradation of characteristics over time are studied. The results of computational and experimental studies of the possible influence of changes in the state of characteristics of engine components on the thermal state of gas turbine components are presented. An algorithm for finding the best combination of parameters of the state characteristics of nodes of the thermodynamic model of the gas turbine system using the quasi-Newtonian method and the finite-difference gradient is proposed. The gas turbine control system allows you to promptly identify problems and take measures to eliminate them in a timely manner, which reduces the time and costs of maintenance.*

The gas turbine of a gas turbine engine is designed to convert part of the enthalpy (heat capacity) of hot gas into mechanical work that drives the compressor and vehicle units. Gas turbines are characterized by high power developed in one unit, with small dimensions, weight and relative simplicity of construction. The power of turbines of aircraft engines reaches 30000...100000 kW and more, the mass of the turbine assembly is from several tens to 700...900 kg (Chygrin, 2017). Providing high power with small dimensions and weight is possible with a significant gas temperature in front of the turbine. As the TG temperature increases, the intensity of gas-dynamic and thermal processes increases, leading to a significant increase in loads of various types, which, in turn, leads to a limitation of the resource of the turbine components (Fig. 1),

and therefore the engine as a whole. The dynamics of changes in thermal and mechanical loads on turbine parts decisively affect the mechanisms of their destruction (Iskra et al., 2023).

The operating conditions of modern aviation gas turbines can be characterized by the following indicators: high temperature of gases in front of the turbine (currently developed TG level is 1400...1700 K, some turbine samples work at TG = 1900...2000 K); high dynamic (from gas flow unevenness) and static (from centrifugal forces) loads reaching 10000...12000 kg in the working blade; erosive and corrosive effect on turbine elements in a chemically active gas environment; unevenness of temperature fields reaching 100 °C on the blade, 150...250 °C on the disc; high gas flow velocities (up to M = 0.4...0.9) in combination with the presence of solid particles in the flow (Chygrin, 2017).



**Fig. 1.** Results of studies of operational damage of gas turbine parts (Yushchenko et al., 2015; Yushchenko et al., 2020)

The operating conditions of modern aviation gas turbines can be characterized by the following indicators: high temperature of gases in front of the turbine (currently developed TG level is 1400...1700 K, some turbine samples work at TG = 1900...2000 K); high dynamic (from gas flow unevenness) and static (from centrifugal forces) loads reaching 10000...12000 kg in the working blade; erosive and corrosive effect on turbine elements in a chemically active gas environment; unevenness of temperature fields reaching 100 °C on the blade, 150...250 °C on the disc; high gas flow velocities (up to  $M = 0.4...0.9$ ) in combination with the presence of solid particles in the flow (Chygrin, 2017). One of the requirements when designing a turbine unit should be controllability - the ability to inspect and control the condition of the most heavily loaded parts. The main parameters characterizing the turbine as a blade machine: gas temperature in front of the turbine; the degree of pressure reduction on the turbine (ranges from 2.5 to 5.0); efficiency of the turbine; the effective work of the turbine stage, which is carried out by one kilogram of the working fluid (gas) passing through the turbine  $L_{\text{turbine stage}} = (15...30) \cdot 104 \text{ J/kg}$ . The relevance of the problem is determined not only by economic considerations, but also by the heat engine's loss of traction level  $\Delta R(\tau)$ , increase in the amount of heat  $\Delta Q(\tau)$  to ensure the given parameters of the thermodynamic cycle.

**Methods.** Experimental methods: measurement of physical parameters of gas turbines using sensors, analysis of operating characteristics of turbines in different modes. Analytical methods: mathematical modeling of the operation of gas turbines, comparison of measured and simulated data, prediction of possible malfunctions. Diagnostic methods: specialized diagnostic systems for detecting anomalies in the operation of gas turbines and

analysis. Field testing and defect testing methods: conducting tests and trials of gas turbine components to assess performance and reliability. Methods of materials science: research of the properties of materials and technologies used in the process of manufacturing (repair) gas turbine components, their thermal and mechanical behavior, resistance to environmental influences.

**Results.** The authors propose a gas turbine control system, which consists of two interconnected subsystems: "online" (analysis of real-time operation as part of the main object) and "offline" (analysis of correct operation, assessment of the state/remaining resource). The main structural elements of the system for monitoring the technical condition of gas turbines (Fig. 2).

Combining the components of the engine turbine technical condition control system with the control system will allow in the "online" mode to integrally evaluate more data and ensure safety during the operation of the engine "near the physical limits". Based on the application of a simplified individual thermodynamic model, in which factors such as the temperature and stress changes of the turbine part material are taken into account together in the form of a cumulative damage accumulation index.

To simulate the operational degradation of node characteristics ( $\Delta\eta_K, \Delta\eta_T$ ) regarding the characteristics of the engine at the beginning of operation, as well as the implementation of the procedure for refining the individual thermodynamic model of the engine, a vector of state parameters is introduced  $\overline{pS}_x$ . The results of modeling the thermal state of the turbine parts (Fig. 3) allow us to establish dependencies between changes  $\Delta\eta_K$  and changes in thermal loads  $\Delta T$  on turbine components.

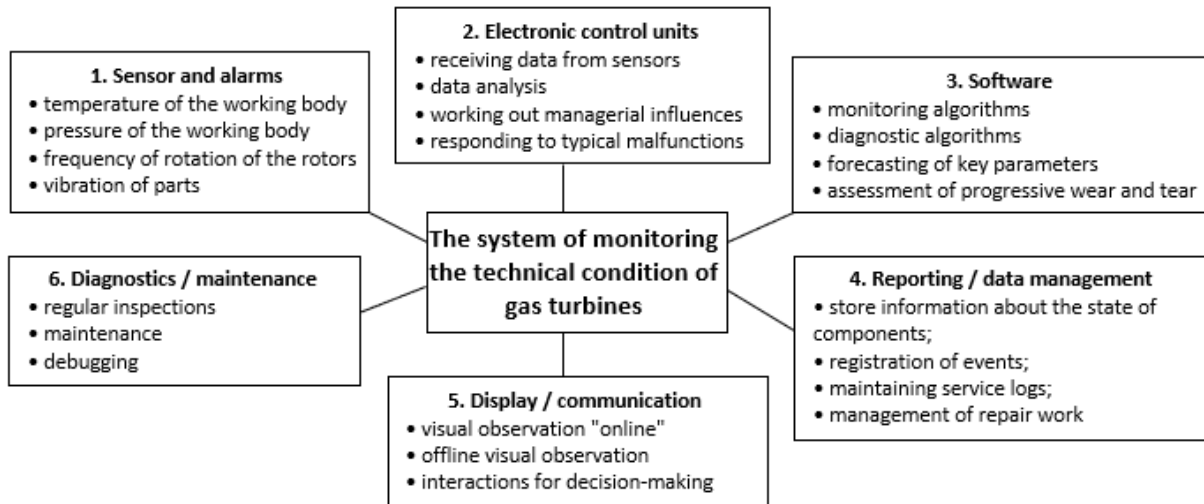


Fig. 2. Control system of gas turbine heat engine

The automatic control system compensates for operational degradation of characteristics by additional heat supply  $q_1 + \Delta q_1$  (Fig. 1) in the thermodynamic cycle (fuel supply to the combustion chamber). At the same time, the values of the parameters of thermodynamic processes increase ( $T_G$ ). It was established that the displacement of the branches of the characteristics of the coefficient of useful action of the compressor  $\Delta \eta_K$  on 8%, under other

identical operating conditions (same external conditions and mode parameters ( $P_H, T_H, \alpha$ )) engine, leads to an increase in the temperature of the turbine blades  $\Delta T_{\text{Turbine Blade}} \approx 97 \dots 100 \text{ K}$ . The total duration of operation of turbine parts at elevated temperature also increases. In transient regimes, fuel overdose can lead to its afterburning in the turbine path, which contributes to intensive thermal destruction of the material of gas turbine parts (Fig. 1).

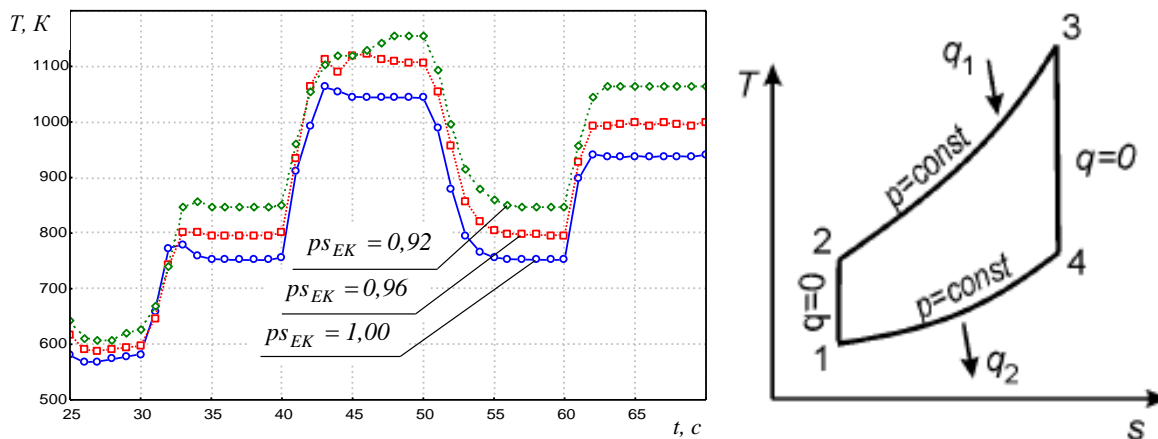


Fig. 3. Results of simulation of changes in the material temperature of turbine parts due to degradation of compressor characteristics ( $\Delta \eta_K = 4 \dots 8\%$ ), Brayton cycle in temperature-entropy coordinates

The implementation of the developed algorithm involves the use of a subroutine for finding the minimum of the objective function with  $m$  variables. The quasi-Newtonian method and the finite-difference gradient are used in the process of searching for the best version of such solutions. This is more fully discussed in the work of Lobunko (2024).

Conclusion. The research results confirm the effectiveness of the system for monitoring the

technical condition of gas turbine components. It provides monitoring of turbine operation parameters and timely diagnosis of potential problems. The use of the control system helps to improve the reliability and safety of flights. Timely detection of anomalies allows you to avoid dangerous situations and reduce the risk of accidents.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yushchenko, K.A., Yarovytsyn, O.V., Nakonechnyi, O.O., Volosatov, I.R., Fomakin, O.O. & Khrushchev, G.D. (2020). *Development of a technology for restoring the sector of nozzle blades from difficult-to-weld nickel heat-resistant alloy type GS6 by microplasma powder coating*. Automatic welding, 11, 27-31. <https://doi.org/10.15407/as2020.11.05>.
2. Yushchenko, K.A., Malashenko, I.S., Yarovytsyn, O.V. & Kushnaryova, T.N. (2015). *Analysis of destruction and durability of turbine blades with a protective coating*. Vibrations in engineering and technologies, 1 (77).
3. Chygrin V.S. (2017). *Design and strength of aircraft engines*. Kharkov: National Aerospace University named after N.E. Zhukovsky "Kharkov Aviation Institute", Kyiv.
4. Iskra, O., Lobunko, D. & Lobunko, O. (2023). *Research of mechanisms of destruction and protection complex thermodynamic systems*. European Science, 1(sge23-01), 60–77. <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-23-01-015>
5. Lobunko, O. (2024). *Search for state parameters of thermodynamic models of gas turbine systems with different thrust amounts*. SWorldJournal, 1 (23-01), 15–22. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-23-00-009>.

Карталь, К., Лобунько, О. (30-31 травня 2024). *Система контролю технічного стану газової турбіни теплового двигуна* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※ \_\_\_\_\_

Kartal, K. & Lobunko, O. (2024, May 30-31). *Gas turbine technical condition control system heat engine* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.



## OPTIMIZATION OF LASER PROCESSING BY MEANS OF NETWORK INFORMATION TECHNOLOGIES

інформаційні технології, мережеве управління, лазерний верстат, технологічний комплекс.

information technology, network control, laser machine, technological complex.

### АВТОРИ

**Pylypenko Tymofii**, bachelor's degree holder, Cherkasy State Technological University, Cherkasy

**Tuz Viacheslav**, associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Cherkasy State Technological University, Cherkasy

**Shadhin Volodymyr**, associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Office of School Administration, Stuttgart, Germany

### АНОТАЦІЯ

У статті розглянуто особливості та переваги застосування інформаційних технологій для мережевого управління портативними лазерними комплексами. Метою роботи є дослідження можливостей впровадження інформаційних технологій у процес управління портативними лазерними комплексами з метою оптимізації технологічних процесів на малих та середніх підприємствах, що спеціалізуються на лазерній обробці різноманітних матеріалів. Основним завданням є дослідження можливостей забезпечення ефективного та точного управління портативними лазерними комплексами за допомогою інформаційних технологій та виявлення нових шляхів для підвищення продуктивності та якості виробництва. Об'єктом дослідження є процес управління лазерним комплексом; предметом дослідження є методи та засоби мережевого управління за допомогою інформаційних технологій. Показано, що за допомогою мережевих інформаційних технологій можна покращити управління портативними лазерними комплексами, щоб забезпечити більш ефективне (швидкість оброблення збільшується в 2,2-2,5 рази) та точне (максимальне відхилення лазерного променя від заданої траєкторії складатиме не більше 25% від діаметру лазерного променя в зоні оброблення) оброблення матеріалів.

### ABSTRACT

The article deals with the features and advantages of using information technologies for network management of portable laser systems. The aim of the work is to study the possibilities of introducing information technologies into the process of managing portable laser systems to optimize technological processes at small and medium-sized enterprises specializing in laser processing of various materials. The main task is to study the possibilities of ensuring efficient and accurate management of portable laser systems using information technology and to identify new ways to improve productivity and quality of production. The object of research is the process of managing a laser complex; the subject of research is the methods and means of network management using information technology. It is shown that network information technologies can be used to improve the management of portable laser systems to ensure more efficient (processing speed increases by 2.2-2.5 times) and accurate (the maximum deviation of the laser beam from the specified trajectory will be no more than 25% of the diameter of the laser beam in the processing zone) processing of materials.

The introduction of information technologies in the process of managing portable laser systems has recently been widely used in industry due to the development of small and medium-sized enterprises specializing in laser processing of various materials [1]. The use of such information technologies is relevant due to the rapid development of this industry and the growing need to ensure efficient and accurate management [2]. The further integration of these technologies into network control opens up new

opportunities for optimizing technological processes, which ensures high speed and accuracy of tasks.

The aim of the study is to investigate the possibilities of introducing information technologies into the management of portable laser systems to optimize technological processes at small and medium-sized enterprises specializing in laser processing of various materials.

The introduction of new approaches to improve productivity and quality of production is due to the possibility of using modern network information technologies to control portable laser systems. This will make it possible to create promising technological lines that underlie the latest production and increase the efficiency and accuracy of production processes. The integration of modern information technologies into production processes will help reduce time and resources, as well as increase the degree of automation and control over these processes. Problem-solving. As is well known [3], networked information technologies provide fast and reliable data exchange between different devices and systems, which is important for

solving complex management tasks. At the same time, these technologies allow for the centralized collection, analysis and storage of large amounts of data, which can effectively manage production processes, resources and personnel. Network technologies also allow for remote monitoring of both the technological process and production equipment, which makes it possible to control it remotely.

The networked information system for managing the laser complex consists of a central controller and a number of subsystems, each of which is responsible for managing specific aspects of the complex, Fig. 1.

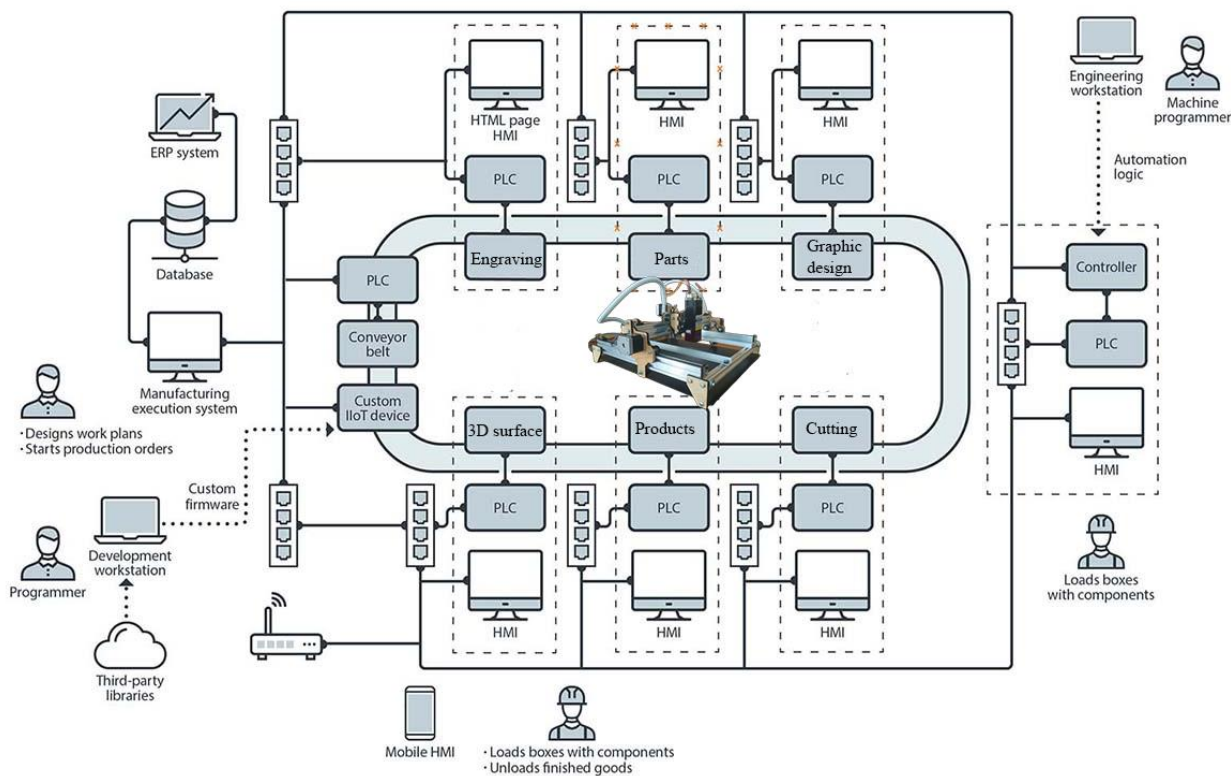


Fig. 1. Block diagram of control at a laser installation at an enterprise

The central controller (CC) is the main node of the network control system, it receives data from the sensors and modules of the laser system unit, which can be transmitted both wirelessly and wired using network adapters of the control system and the actuator, analyzes them and makes decisions on the optimal control of the complex. On the other hand, the central controller has a wireless connection to the control interface (which can be realized at a considerable distance using network modems or routers, and for

devices within the range of these networks), which can be both stationary devices (for example, PCs) and mobile devices (tablets, smartphones). At the same time, the central controller is connected to the RAM and external storage device (ESD), which allows storing, processing and The diagram (Fig. 1.b) clearly shows the main stages of information processing and command transmission in the system, which ensures its optimal operation.

How the system works. The laser system subsystems, such as laser control units, cooling and protection systems, receive commands from the central controller and execute them using data transmitted by network technologies in the form of a G-code via RS-232 or Ethernet. This ensures the coordinated operation of all system components and provides high efficiency and accuracy of tasks.

As a result of practical research, it was found that the networked information system for managing the laser complex is a key element for achieving efficiency and accuracy of production processes.

In conclusion, it should be emphasized that network information technologies are not only an effective tool for optimizing management, but

also an important component in the development of an enterprise, which provides it with competitive advantages and stable growth.

Conclusion. In the course of the research, the possibilities of ensuring more efficient (the speed of material processing is increased by 2.2–2.5 times) and accurate (the maximum deviation of the laser beam from the given trajectory is no more than 25% of the diameter of the laser beam in the processing zone, which is 27.5 microns) control of portable laser complexes through the use of network information technologies to improve productivity and quality of production, among which it should be noted the technology of tracking and quality control and the system of chapter.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nevliudov, I., Yevsieiev V., et al. (2021). *Evolutions of group management development of mobile robotic platforms in Warehousing 4.0*. Innovative technologies and scientific solutions for industries, 4 (18), 57-64. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.18.057>
2. Wang, K., Liu, W., Hong, Y., et al. (2024). <https://www.mdpi.com/2157134>
3. Complexity and Chimera States in a Network of Fractional. Order Laser Systems. Symmetry (2021). <https://doi.org/10.3390/sym13020341>

Пилипенко, Т., Туз, В. (30-31 травня 2024). *Оптимізація лазерної обробки за допомогою мережевих інформаційних технологій* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Pylypenko, T. & Tuz, V. (2024, May 30-31). *Optimization of laser processing by means of network information technologies* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.

## ПІДВИЩЕННЯ ТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНОГО П'ЄЗОКЕРАМІЧНОГО ДВИГУНА НА ОСНОВІ БІМОРФНИХ П'ЄЗОЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

комп'ютерна 3D модель,  
п'єзокерамічний двигун, біморфний  
п'єзоелемент, системи  
автоматизації.

computer 3D model, piezoceramic  
motor, bimorph piezo element,  
automation systems.

### АВТОРИ

**Філімонов Сергій Олександрович**, канд. техн. наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Філімонов Надія Вікторівна**, канд. техн. наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Бачеріков Дмитро Сергійович**, здобуває освітньо-наукового рівня доктора філософії, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Базіло Костянтин Вікторович**, д-р техн. наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

В роботі побудовано та досліджено комп'ютерну 3D модель конструкції пластини біморфного п'єзоелемента з підвищеними тяговими характеристиками, яка використовується в п'єзокерамічних двигунах. Це дозволило проектувати двигуни даних типів з необхідними технічними характеристиками, які можуть використовуватися в системах автоматизації.

### ABSTRACT

In the work, a 3D computer model of the design of a bimorph piezo element plate with increased traction characteristics, which is used in piezoceramic motors, was built and studied. This made it possible to design motors of these types with the necessary technical characteristics that can be used in automation systems.

Вступ. Автоматизація – один з найперспективніших напрямків сьогодення. Впровадження в автоматизацію п'єзоелектричних виробів, зокрема п'єзокерамічних двигунів, є досить перспективним та важливим напрямком.

Завдяки простоті конструкції та ряду технічних переваг над електромагнітними двигунами, а саме відсутністю випромінюваних магнітних полів і неохильності до їх впливу, можливістю мініатюризації, широким діапазоном частот обертання і моментів на валу (0.1...1.0 Нм), вогнестійкістю, відсутністю обмоток, можливістю самозастигання приводного валу без споживання електричного струму та великою точністю позиціонування порядку 0.5  $\mu\text{m}$  [1], досить значної сили штовхання (тяги) до 10 Н п'єзоелектричні двигуни є високоефективними в використанні в усіх галузях автоматизації, а особливо в сучасних робототехнічних системах, що обґрунтовано

винятковою їх невибагливістю в умовах роботи та обслуговуванні.

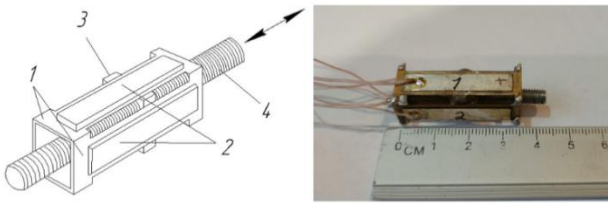
Перераховані вище властивості показують, що розробка п'єзоелектричного двигуна з підвищеними тяговими характеристиками, для ширшого сектору використання в автоматизації та робототехнічних системах являється актуальною задачею [2].

Однак їх розвиток та впровадження стримується недоліком досліджень у цій галузі, що не дозволяє перейти до їх розробки та впровадження.

На рис. 1 представлена одна з багатьох конструкцій гвинтового п'єзокерамічного двигуна, в основі якої лежать біморфні п'єзоелементи [3].

Мета роботи – вдосконалення елементів п'єзоелектричного двигуна для підвищення тягових характеристик за рахунок модернізації біморфних п'єзоелектричних елементів.





**Рис. 1.** Конструкція п'єзоелектричного двигуна з використанням біморфних п'єзоелементів: 1 – латунні пластини; 2 – п'єзоелементи; 3 – чотиригранна металева гайка, 4 – ходовий вал

Підвищити тягові характеристики лінійного п'єзокерамічного двигуна на основі біморфних п'єзоелементів можливо різними способами, зокрема використати більш ефективні п'єзоелектричні матеріали або робити конструктивні зміни в конструкції.

На рис. 2 показано конструкцію пластин п'єзоелектричного двигуна з біморфними п'єзоелементами [4]. Конструкція складається з одного п'єзоелемента, розміри якого становлять 36х6х0.4 мм, та латунної пластини, розміри якої становлять 36х12х0,1 мм.



**Рис. 2.** Конструкція біморфного п'єзоелемента: 1 – латунна пластина; 2 – п'єзоелемент

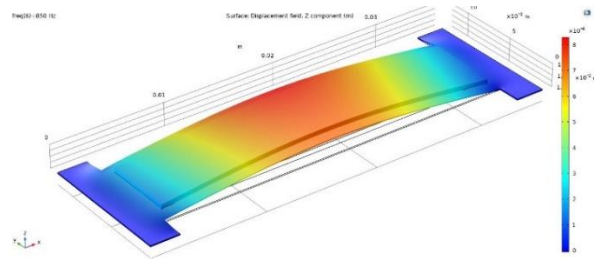
Одна з важливих характеристик п'єзокерамічних двигунів є сила та момент на валу. Тому актуальним постає питання розробки нових конструкцій п'єзоелектричних двигунів, які можуть використовуватися в системах автоматизації. Для отримання максимальної сили треба визначити частоту, при якій забезпечується максимальна амплітуда коливань.

Результати чисельного моделювання були проведені в пакеті програм COMSOL

**Табл. 1.** Результати моделювання

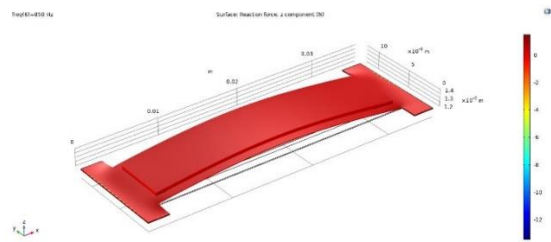
Вид конструкції	Амплітуда коливань, м	Частота коливань, Гц	Сила, Н
1	$74 \cdot 10^{-5}$	850	8,5
2	0,0028	1200	180
3	$45 \cdot 10^{-5}$	900	14,5
4	$11 \cdot 10^{-5}$	950	0,6
5	$11,3 \cdot 10^{-5}$	900	7,5
6	$10,8 \cdot 10^{-5}$	850	0,82

Multiphysics 5.2. На рис. 3 зображено результати моделювання в режимі Frequency Domain.



**Рис. 3.** Результати чисельного моделювання для визначення резонансної амплітуди коливань системи в режимі Frequency Domain

З рис.3 видно, що резонансна частота відповідає 850 Гц. На рис. 4 представлено результати чисельного моделювання для визначення сили конструкції пластини п'єзоелектричного двигуна в режимі Frequency Domain.



**Рис. 4.** Результати чисельного моделювання для визначення сили конструкції пластини п'єзоелектричного двигуна в режимі Frequency Domain

Моделювання всіх інших конструкцій (конструкції 2 з триморфний асиметричний п'єзоелементом, конструкції 3 з триморфний симетричний п'єзоелементом, конструкції 4-6 пакетного типу), буде виконуватися аналогічним способом, як і для конструкції 1 з біморфним п'єзоелементом (табл. 1).

Висновки. Таким чином, використання двигуни з покращеними технічними характеристиками. Отримані дані можна використовувати при проектуванні пристроїв на основі лінійних п'єзоелектричних двигунів, зокрема в системах автоматизації.

розроблених моделей п'єзокерамічного двигуна на основі біморфних п'єзоелементів дає можливість точніше описувати процеси, котрі відбуваються в п'єзокерамічних двигунах, і проектувати п'єзокерамічні

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Halchenko, V.Ya., Filimonov, S.A., Batrachenko, A.V. & Filimonova, N.V. (2018). *Increase the Efficiency of the Linear Piezoelectric Motor*. J. Nano- Electron. Phys., 10 (4), 04025 (5pp). doi: 10.21272/jnep.10(4).04025.
2. Філімонов, С.О., Філімонова, Н.В., Бачеріков, Д.С. (2020). *Використання п'єзоелектричного двигуна в агросфері*. Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку», 15-17.
3. Sharapov, V. (2011). *Piezoceramic sensors*. Springer Verlag, Heidelberg, Dordrecht, London, New York. doi: 10.1007/978-3-642-15311-2.
4. Філімонов, С.О., Філімонова, Н.В., Мисан, А.О., Бачеріков, Д.С. (2019). *Розробка п'єзодвигуна для біопротезу*. Вісник Черкаського державного технологічного університету, 3, 20-24.

Філімонов, С.О., Філімонова, Н.В., Бачеріков, Д.С. Базіло, К.В. (30-31 травня 2024). *Підвищення тягових характеристик лінійного п'єзокерамічного двигуна на основі біморфних п'єзоелементів для використання в системах автоматизації* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Filimonov, S.O., Filimonova, N.V., Bacherikov, D.S. Bazilo, C.V. (2024, May 30-31). *Improving the traction characteristics of a linear piezoceramic motor based on bimorphic piezoelectric elements for use in automation systems* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.

## АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ МУЛЬТИ- ФІЛАМЕНТНОГО 3D ДРУКУ

3D друк, мультифіламентний друк, адаптивне керування, хотенд, зміна матеріалів, оптимізація друку.

3D printing, multifilament printing, adaptive control, hotend, material change, print optimisation.

### АВТОРИ

**Усенко Євгеній Андрійович**, здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Туз Вячеслав Валерійович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Dzierwa Andrzej**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

### АНОТАЦІЯ

Мультифіламентний 3D друк - це технологія, яка дозволяє використовувати різні матеріали для створення складних деталей. Одним з ключових аспектів цього процесу є можливість зміни хотенда під час друку. Це відкриває нові можливості для оптимізації друку та використання різних матеріалів у одному проекті. Зміна хотенда під час друку дозволяє перехід від одного матеріалу до іншого без перерви у виробничому процесі. Під час зміни хотенда, оператор може встановити нову головку з іншим матеріалом, який може мати інші властивості або кольори. Це особливо корисно для виробництва складних об'єктів, які потребують використання різних матеріалів для різних виробів.

### ABSTRACT

Multifilament 3D printing is a technology that allows the use of different materials to create complex parts. One of the key aspects of this process is the ability to change the hotend during printing. This opens up new possibilities for optimising printing and using different materials in the same project. Changing the print head during printing allows you to switch from one material to another without interrupting the production process. During a hotend change, the operator can install a new head with a different material that may have different properties or colours. This is especially useful for the production of complex objects that require the use of different materials for different products.

Мультифіламентний 3D друк є перспективною технологією, яка дозволяє використовувати різні матеріали для створення складних та функціональних деталей. Проте для досягнення оптимальних результатів у цьому процесі необхідна ефективна система керування, яка адаптується до змінних умов друку.

Адаптивне керування - це стратегія оптимізації процесу друку, що передбачає автоматичне налаштування параметрів друку. Схема друку декількома матеріалами в реальному часі для досягнення максимальної якості та продуктивності (Рис.1). Основні компоненти адаптивного керування в мультифіламентному 3D друку включають: (1)

1. Сенсори та зворотній зв'язок: Вимірювання параметрів друку, таких як температура, швидкість, тиск тощо, за допомогою сенсорів і використання цих даних для корекції параметрів друку.

2. Алгоритми корекції: Розробка алгоритмів, які враховують дані з сенсорів і автоматично коригують параметри друку для досягнення оптимальної якості.

3. Гнучкість управління: Можливість операторів встановлювати або змінювати параметри друку в реальному часі в залежності від конкретних вимог або умов друку.

4. Моніторинг і аналіз: Системи моніторингу, які відстежують якість друку та інші параметри процесу для подальшого

аналізу та вдосконалення системи адаптивного керування.(2)

Адаптивне керування дозволяє забезпечити підвищення якості друку, зменшення відхилень від заданих параметрів, скорочення часу, необхідного для налаштування обладнання, та підвищення продуктивності друкарського процесу.

Шляхом використання сучасних технологій сенсорів, алгоритмів корекції та гнучкого управління, адаптивне керування стає ключовим інструментом для досягнення найвищих стандартів якості та ефективності в мультифіламентному 3D друку.

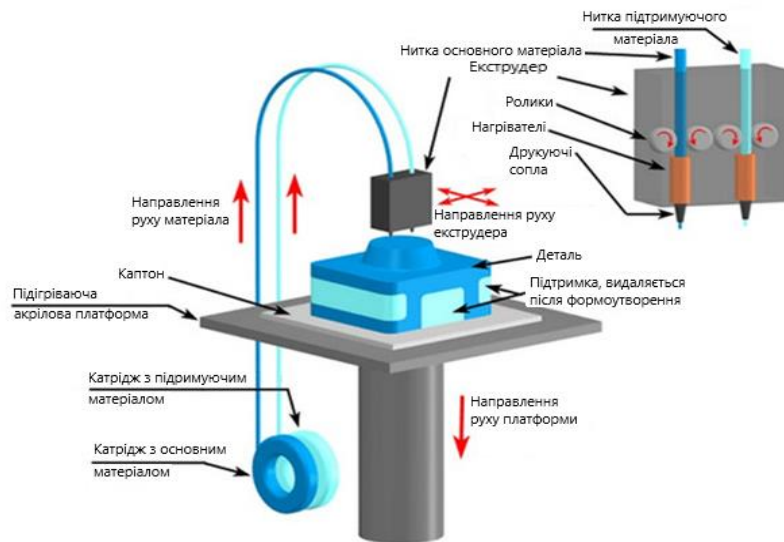


Рис. 1. Схема друку

Одним із ключових аспектів адаптивного керування в мультифіламентному 3D друку є здатність до зміни хотенда під час процесу друку. Хотенд відповідає за нагрівання та екструзію матеріалу і може бути використаний для друку різних матеріалів або комбінацій матеріалів з різними властивостями.

Зміна хотенда під час друку дозволяє перехід від одного матеріалу до іншого без необхідності зупинки процесу. Це особливо корисно при друку складних об'єктів, які потребують використання різних матеріалів для різних частин. Наприклад, можна використовувати один матеріал для структурних елементів іншого - для декоративних або функціональних елементів. Розроблена модель 3D принтера з мультифіламентною заміною екструдерів Рис.2

Крім того, зміна хотенда може бути використана для оптимізації процесу друку. Наприклад, в залежності від вимог щодо швидкості друку або якості поверхні, можна

встановити хотенд із відповідними параметрами.

Завдяки можливості зміни хотенда під час друку, мультифіламентний 3D друк стає ще більш гнучким та універсальним методом виробництва. Це відкриває нові перспективи для застосування технології у різних галузях, де потрібна широка гама матеріалів та властивостей для виготовлення складних деталей. (3)

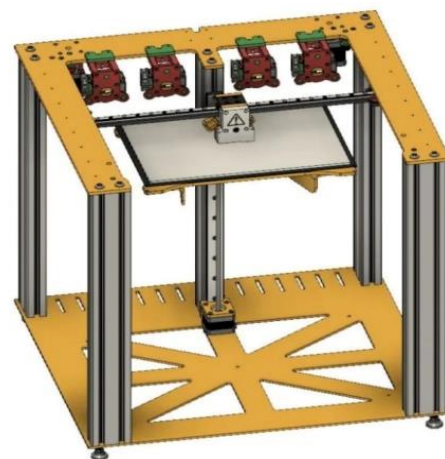


Рис.2. Модель 3D принтера з мультифіламентною заміною екструдерів



Висновок: Можливість зміни хотенда під час мультифіламентного 3D друку є важливим аспектом, який розширює можливості та підвищує ефективність цієї технології. Це дозволяє виробникам створювати складні та інноваційні продукти з використанням різних матеріалів, а також оптимізувати процес друку для досягнення найкращих результатів. Таким чином, зміна хотенда в мультифіламентному 3D друку відіграє ключову роль у покращенні якості, швидкості та ефективності виробництва.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

---

1. Gebhardt, A., Kessler, J. & Thurn L. (2018). *3D Printing: Understanding Additive Manufacturing*, Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG.
  2. Noorani, R. (2017). *3D Printing: Technology, Applications, and Selection*, CRC Press.
  3. Wimpenny, D. I., Pandey, P. M., Kumar, L. J. (2016). *Advances in 3D Printing & Additive Manufacturing Technologies*. Springer.
  4. Mandrycky, C. et al. (2016). *3D bioprinting for engineering complex tissues*. *Biotechnology advances*. 34 (4), 422-434.
- 

Усенко, Є.А., Туз, В.В. (30-31 травня 2024). *Адаптивне керування процесом мультифіламентного 3D друку* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Usenko, E.A. & Tuz, V.V. (2024, May 30-31). *Adaptive control of the multifilament 3D printing process* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.

## ІНІЦІУВАННЯ ПЕРВИНИХ СТАДІЙ ГОРІННЯ ГАЗОПОДІБ- НОГО ПАЛИВА ЕЛЕКТРОННО- КАТАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ

горіння, газоподібне паливо,  
інтенсифікація процесу горіння,  
електроннокаталіз

combustion, gaseous fuel, intensification of  
the combustion process, electronocatalysis

### АВТОРИ

*Вязовик Віталій Миколайович, д-р техн. наук, доцент, професор, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси*

### АНОТАЦІЯ

*На базі процесу горіння газоподібного палива розглянуто вплив електроннокаталітичної інтенсифікації процесу горіння. Наведені теоретичні основи процесу горіння газоподібного палива на прикладі горіння вуглеводнів. Наведено результати досліджень електроннокаталітичної інтенсифікації процесу горіння газоподібного палива.*

### ABSTRACT

*On the basis of the combustion process of gaseous fuel, the impact of electron-catalytic intensification of the combustion process is considered. The theoretical foundations of the gaseous fuel combustion process using the example of hydrocarbon combustion are presented. The results of studies of the electrocatalytic intensification of the gaseous fuel combustion process are presented.*

Сучасний стан хімічної промисловості характеризується великою витратою енергії і наявністю складних технологічних процесів. Досить значна частина цих процесів включає процеси горіння та окиснення.

Кожний з цих процесів характеризується своєю ефективністю (не завжди високою) переробки сировини в готову продукцію. Одночасно при недостатньо високій ефективності процесу в навколишнє середовище викидається частина сировини у вигляді продуктів неповної переробки при окисненні сировини або як продукти недопалення при спалюванні палива.

Ефективність переробки сировини в готову продукцію в значній мірі залежить від ініціювання первинних стадій. Ініціювання первинних стадій хімізму процесів, що протікають, горіння та окиснення, вимагає великої кількості енергії. Так, енергія активації первинної стадії термічної деструкції  $\text{CH}_4$  при горінні метану складає 439,58 кДж/моль енергії, тоді як при спалюванні того ж молу метану можна отримати 891,88 кДж теплової енергії. Тобто, на ініціювання певних стадій витрачається третина від можливої кількості отриманого тепла. Подолання високої енергії активації

первинних стадій часто призводить до ускладнення технологічного процесу. Зменшення енергії активації первинних стадій горіння та окиснення дозволить знизити енергетичні витрати на проведення усього технологічного процесу, що, в свою чергу, може підвищити ефективність переробки сировини в готовий продукт.

Розробка і впровадження в промисловість методів інтенсифікації первинних стадій процесів горіння та окиснення, які дозволили б підвищити ефективність цих процесів, спрощуючи технологічний процес і зменшуючи викиди в навколишнє середовище – є актуальною.

Одним із таких методів є електроннокаталітичний метод, суть якого полягає в інтенсифікації первинних ендотермічних стадій реакцій горіння газоподібного палива, і базуються на використанні направленої дії штучно створеної низькотемпературної плазми з упорядкованим рухом «повільних» електронів в присутності гетерогенного каталізатору та визначення оптимальних умов проведення цих процесів.

Одним із методів створення низькотемпературної нерівноважної плазми є

електричні розряди в газах. Одним із таких розрядів є діелектричний бар'єрний розряд або бар'єрний розряд. Бар'єрний розряд це розряд, який виникає в газі під дією прикладеної до електродів високої напруги, при цьому хоча б один із електродів повинен бути покритий діелектриком. Присутність діелектрика зменшує швидкість виходу електрону з поверхні електроду (за рахунок подолання опору діелектрика), ослаблює його кінетичну енергію при впливі на молекули газу, котрі піддаються впливу розряду, і не дає можливості утворенню лавини електронів, які призводять до пробоя, а значить перетворенню бар'єрного розряду в дугу. Таким чином, спостерігається рівномірне розподілення об'єму розряду, що вигідно відрізняється від усіх інших видів отримання низькотемпературної плазми. Цей тип розряду характеризується з однієї сторони, порівняно високою середньою енергією електронів і із іншої – низькою температурою газу, виділяється в короткоживучих, малоінтенсивних іскрах – мікророзрядах. Сполучення усіх цих умов робить тихий розряд ефективним для проведення реакцій конденсації.

Електрон в бар'єрному розряді має в середньому заряд 3-5 eV. Константа коливальної релаксації однокомпонентних газів при 300 K мають наступні значення ( $\text{cm}^3/\text{c}$ ):  $\text{O}_2 - 5 \cdot 10^{-18}$ ;  $\text{N}_2 - 5 \cdot 10^{-18}$ ;  $\text{CO} - 10^{-19}$ ;  $\text{CH}_4 - 10^{-14}$ ;  $\text{H}_2\text{O} - 10^{-11}$ . Тобто з усіх наведених сполук вода найлегше йонізується і на йонізацію її витрачається до 5 eV. В результаті цієї йонізації утворюється велика кількість позитивно та негативно заряджених йонів води. Ці йони, стикаючись з ще нейтральними молекулами води та іншими молекулами, які тут знаходяться (наприклад, метан), також їх йонізують.

Кожний йон, який утворюється, має досить високі значення енергій сродства як до електрону, так і до протону. Енергія сродства до електрону для молекули води складає -5 eV (-482 кДж/моль), тобто молекула води повністю поглинає усю енергію електрону,

утворюючи при цьому велику кількість йонів та вторинні електрони, значення енергій сродства яких до електрону або протону мають свої значення, а в деяких випадках досить високі. Усі ці енергії вносять досить високе сумарне значення в енергетику процесу, якого достатньо для ініціювання процесів окиснення в зоні електричного розряду, тоді як на створення самого електричного розряду необхідно лише 1,2 кДж/моль (0,0125 eV) енергії. Сумарне значення цієї енергії може досягати при найменших значеннях енергій біля 55,284 eV (5229,87 кДж/моль). Разом з 80 % енергії, яку вкладає в хімічний процес розряд, цей енергетичний ефект може бути використаний для ініціації і продовження будь-якої хімічної реакції (в нашому випадку процес окиснення та горіння).

Опис методики дослідження. Бар'єрний розряд створювали в спеціально сконструйованому генераторі радикалів, що складається з двох частин - електродів, розташованих на невеликій відстані один від одного. Конструктивно електроди виконані у вигляді двох коаксіально розташованих циліндрів, які приєднані до джерела змінного струму високої напруги. У зв'язку з необхідністю подачі в зону розряду парів води вибрано ефективний матеріал діелектрика, який має довготривалу стійкість до впливу парів води в розряді. Розрядний об'єм генератора радикалів становив  $25 \text{ cm}^3$ .

Дослідження процесу інтенсифікації горіння газоподібного палива в зоні тихого розряду проводили на лабораторній установці, яка складалася з балону, генератора радикалів, змішувача і пальника. Для запобігання горіння палива в самому каталізаторі, подача повітря здійснювалась над каталізатором. Через каталізатор пропускатися тільки газоподібне паливо.

Результати досліджень. Було досліджено вплив різних видів розрядів, каталізаторів на процес електронно-каталітичного спалювання газоподібного палива.

При додаванні до палива парів води спостерігається значне зменшення виділення тепла і досягає лише 5,2 % при тій же напрузі. При додаванні до палива парів води досягається значно більша економія палива, але вона не досягає тих значень, що при спалюванні чистого газоподібного палива. Найбільша економія палива досягає 13,3 % при напрузі 6 кВ. При одночасному додаванні до палива парів води і вуглекислого газу не має економії палива, а навпаки, збільшуються витрати пального.

- максимальне збільшення температури спостерігається при часі контакту 0,018 с при коефіцієнті надлишку повітря в межах 0,84-1,1 і при каталізаторах, які містять нікель, складає 3-4 градуси в порівнянні з контрольним дослідом. При менших значеннях коефіцієнту надлишку - і не перевищує 3 градусів в порівнянні з

контрольним дослідом. При коефіцієнтах надлишку повітря більше 1,1 ефект зростання температури зменшується і не перевищує 2 градусів.

При дослідженні впливу різних каталізаторів визначено:

- при використанні каталізатору складу Ni-5%,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1 % промотер,  $\lambda$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 94% (КТ1); досягається найбільша різниця температур при усіх напругах і коефіцієнтах надлишку повітря і часу обробки. Інші каталізатори мають менше збільшення температури. При використанні каталізатору КТ1 в ряді випадках спостерігається значно більше зростання температури, ніж при використанні складу Cr- 18 %, Ni – 10 %, Ti 1 %;

- споживаєма потужність для наведених дослідів не перевищують 2,7 % від кількості тепла, що утворилася додатково.

Вязовик, В.М. (30-31 травня 2024). *Ініціювання первинних стадій горіння газоподібного палива електроннокаталітичним методом* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Vyazovik, V.M. (2024, May 30-31). *Initiation of the primary stages of combustion of gaseous fuels by electrocatalytic method* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].



## ВИКОРИСТАННЯ HOME ASSISTANT ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЄДИНОЇ ЕКОСИСТЕМИ

розумний дім, Home Assistant, автоматизація, розумні пристрої, екосистема, інтеграція, управління пристроями, розумний дім.

smart home, Home Assistant, automation, smart devices, ecosystem, integration, device management, smart home.

### АВТОРИ

**Вознюк Єгор Володимирович**, здобувач освітнього рівня бакалавр, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

**Туз Вячеслав Валерійович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

У статті досліджено систему розумного будинку з використанням програмного забезпечення Home Assistant. Було виявлено, що Home Assistant може значно спростити управління різними електроприладами та процесами за рахунок об'єднання пристроїв різних виробників в єдину екосистему. Це позбавляє від необхідності використовувати кілька мобільних додатків і дозволяє створювати автоматизовані сценарії для різних технічних пристроїв. Дослідження показало, що користувачі можуть.

### ABSTRACT

This paper investigates the smart home system using the Home Assistant software. It was found that Home Assistant can significantly simplify the management of various electrical appliances and processes by combining devices from different manufacturers into a single ecosystem. This eliminates the need to use multiple mobile applications and allows you to create automated scenarios for different technical devices. The study showed that users can keep their existing smart devices and avoid additional costs for new equipment.

Система "інтелектуальний будинок" стає все більш популярним вибором для власників житлових та комерційних об'єктів. Її часто встановлюють, оскільки це дозволяє керувати електричними приладами та процесами з використанням смартфона або голосових команд. Наприклад, можна налаштувати час включення та вимикання, регулювати температуру та створювати інші сценарії для різних ситуацій.

Однак перед переходом до Home Assistant у користувачів виникає питання про необхідність придбання нового обладнання. З урахуванням того, що смарт-пристрої виробляються різними виробниками, а сучасні будинки можуть бути оснащені різноманітними пристроями, може виникнути потреба у кількох мобільних додатках для керування. Це пов'язано з тим, що прилади конкретного бренду працюють належним чином лише з програмою, призначеною саме для них.

Як відомо, для повного використання будь-якого технічного пристрою необхідно встановлювати програмне забезпечення від його виробника. Це часто призводить до обмеження користувачів лише моделями конкретного бренду, що не завжди зручно. Більшість користувачів зіштовхуються з потребою розширення списку підтримуваних пристроїв у процесі використання.

Однак, якщо ви встановили програмне забезпечення від одного виробника, але прагнете додати до своєї системи пристрій, якого немає у їх асортименті, немає причин для розчарування. Виходом з цієї ситуації може стати використання глобальної системи Home Assistant. Це програмне забезпечення дозволяє об'єднати пристрої різних виробників в єдину екосистему та керувати ними через різноманітні додатки.

Home Assistant має низку переваг, що роблять його привабливим для використання:

- Об'єднання різних екосистем у єдину систему, включаючи пристрої від Mi Home, TuYa, Aqara та інших;

- Розширення можливостей "розумного будинку";

- Можливість створення різноманітних автоматизованих сценаріїв для різних технічних пристроїв.

Home Assistant забезпечує об'єднання всіх пристроїв, що використовуються в будинку або квартирі, в одну систему. Це дозволяє керувати ними зручніше та простіше, не потребуючи встановлення та відкриття кількох різних додатків. Вибір цього рішення звільняє від необхідності в покупці нової техніки, якщо вона відповідає всім вимогам.

Перехід на Home Assistant можна здійснити легко, без необхідності витратити кошти на нове обладнання. Всі наявні пристрої можна залишити, потрібно лише придбати ZigBee-стік і одноплатний комп'ютер. Для встановлення програмного забезпечення необхідно під'єднати всі пристрої до Home Assistant. Це робиться дуже просто:

1. Відключити всі "розумні" пристрої від попередньо використовуваного додатку (одного чи декількох).

2. Перевести смарт-датчики в режим сполучення.

3. Підключитися до ZigBee замість шлюзу.

Ці три кроки дозволять створити єдину екосистему для локального керування. У майбутньому можна буде додавати нові пристрої, наприклад, встановлені на дачі. Завдяки інтеграції з Home Assistant можна буде керувати їх роботою дистанційно. Це можливо і для пристроїв, що працюють через Wi-Fi: більшість функцій буде доступна в хмарному режимі, хоча деякі залишаться локальними.

На рисунку 1 представлено вікно інтеграції пристроїв різних виробників до свого розумного будинку, а також перелік пристроїв які можуть інтегруватися в систему. На сьогоднішній день доступно 2778 пристроїв для інтеграції та кожного дня з'являються нові.

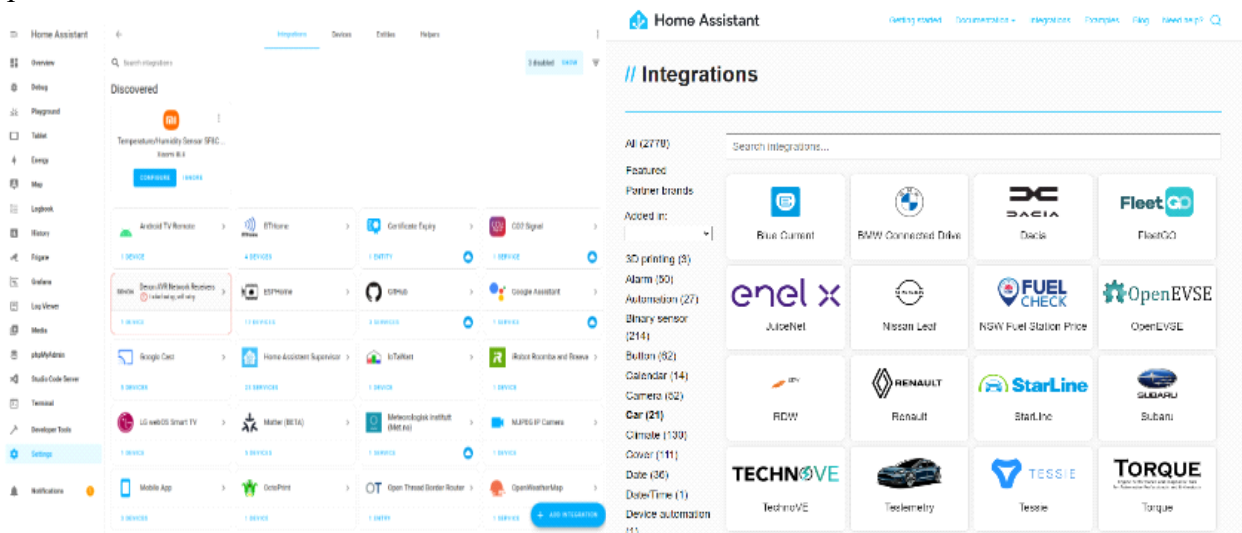


Рис. 1. Інтеграція пристроїв в Home Assistant

У ході дослідження системи "інтелектуальний будинок" з використанням програмного забезпечення Home Assistant було виявлено, що ця платформа значно спрощує керування різноманітними електричними приладами та процесами. Home Assistant дозволяє об'єднувати пристрої різних виробників в єдину екосистему, що

усуває необхідність використовувати кілька різних мобільних додатків.

Практичне значення дослідження полягає в тому, що користувачі можуть зберегти існуючі смарт-пристрої та уникнути додаткових витрат на нове обладнання. Завдяки Home Assistant, можливості "розумного будинку" значно розширюються,

дозволяючи створювати автоматизовані сценарії для різних технічних пристроїв.

Загалом, Home Assistant підтвердив свою ефективність для створення єдиної екосистеми "розумного будинку" та забезпечив зручне керування різними пристроями без значних додаткових витрат.

Висновок. Таким чином, проведене дослідження підтвердило ефективність

використання Home Assistant для створення єдиної екосистеми "розумного будинку" та вказало на необхідність подальшого розвитку інтеграційних можливостей для підвищення зручності та функціональності систем. Отримані результати є цінними для користувачів, які прагнуть оптимізувати керування своїми "розумними" пристроями без значних додаткових витрат.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

---

1. Home Assistant. Habr. (2024, 21 April). <https://www.home-assistant.io/docs/>
  2. Vandome, N. (2018). *Smart Homes in Easy Steps*, 1-192.
  3. Spivey, D. (2015). *Smart Home Automation with Linux and Raspberry Pi*. Wiley, 1-360.
- 

Вознюк, Є.В., Туз, В.В. (30-31 травня 2024). *Використання home assistant для створення єдиної екосистеми* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Vozniuk, E.V. & Tuz, V.V. (2024, May 30-31). *Using home assistant to create a single ecosystem* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine.

## ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА АВТОТРАНСФОРМАТОРІВ

трансформатор, напруга,  
обмотка, відгалуження,  
регулювання..

transformer, voltage, winding,  
branching, regulation.

### АВТОРИ

**Ярославський Андрій Володимирович**, здобувач освітньо-наукового рівня  
доктора філософії, Черкаський державний технологічний університет,  
м. Черкаси

### АНОТАЦІЯ

При створенні комп'ютерних систем моделювання потрібно враховувати багато різних особливостей, типів, можливостей дослідницького об'єкта. У даній роботі розглядається одна з особливостей при створенні моделі з використанням основних принципів регулювання напруги силових трансформаторів та автотрансформаторів за допомогою гілок відгалужень. Хоч основним недоліком при використанні гілок відгалужень є складність використання і завелика вартість, але варто враховувати принципи регулювання напруги так як це розширить можливості і вдосконалив трансформатори при їх розробці.

### ABSTRACT

When creating computer modeling systems, it is necessary to take into account many different features, types, and capabilities of the research object. This paper considers one of the features of the model created using the basic principles of voltage regulation of power transformers and autotransformers using branch branches. Although the main disadvantage of using branch branches is the difficulty of use and the high cost, it is worth considering the principles of voltage regulation, as this will expand the possibilities and improve the transformers during their development..

До якісних показників електроенергії відносять: відхилення частоти, усталене відхилення напруги, розмах і частота зміни напруги, коефіцієнти несиметрії напруг за зворотною та за нульовою послідовностями.

Дієві значення показників відповідно до існуючих стандартів не мають бути вищими допустимих норм протягом доби при відхиленні в межах 5% та не виходити за межі гранично допустимих значень.

До лінії електропередачі приєднуються первинні обмотки трансформаторів приєднують, де їхня номінальна напруга має дорівнювати номінальній експлуатаційній напрузі споживачів. Одним із головних джерел живлення виступають вторинні обмотки трансформаторів, від яких живляться лінії електропередачі, тому їхня номінальна напруга на 5-10% перевищує номінальну напругу мережі. Це компенсує втрати напруги і в лініях, і у трансформаторах. На споживчі трансформатори додатково нараховується надбавку 5%. Такі заходи дозволяють

запобігти надмірному підвищенню напруги у споживача.

При приєднанні до вторинних обмоток трансформаторів високовольтних ліній з подальшим перетворенням напруги зараховують додаткову надбавку 10%, оскільки первинні обмотки трансформаторів, що мають надбавку у 5% розраховані для безпосереднього підключення їх до затискачів генераторів.

Для ефективного регулювання напруги силового трансформатора встановлюють вимикач із функцією регулювання напруги під навантаженням (далі – РПН) і вимикач із функцією регулювання напруги холостого ходу (далі – ПБЗ, перемикач без збудження).

Основними складовими системи електропостачання є джерело електроенергії, підвищувальний та понижуючий трансформатор і лінії електропередачі.

Поділяючи на певні ділянки на рисунку 1 можна побачити, що на початку ділянки 1



враховано додаткову напругу 5% (10,5 кВ) від заданої номінальної, а кінець ділянки 2 показує втрати напруги 5% (9,5 кВ). Тому для компенсації втрат напруги використовують понижуючий трансформатор, що підвищує напругу на 10% і на початку ділянки 3 напруга

зростає на 5% від номінальної (400В). Але кінець ділянки 4 показує чергові втрати напруги 5% від номінальної (360 В). Для трифазних електричних мереж за номінальну напругу беруть до розрахунків міжфазну.

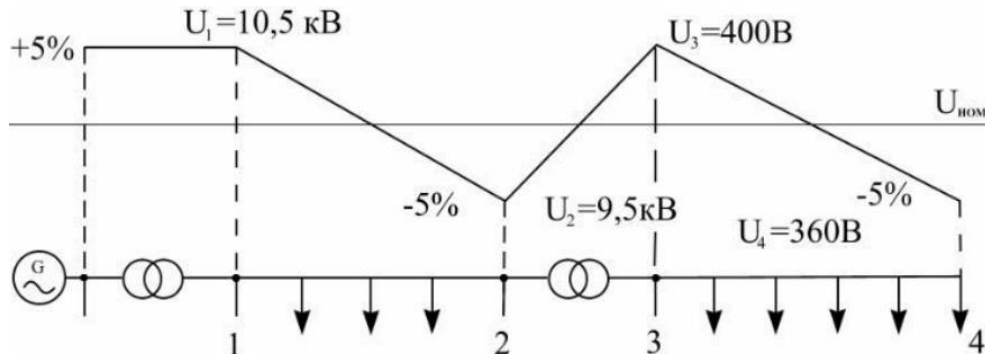


Рис.1.. Номінальні і дійсні напруги мережі із використанням понижуючого трансформатора

Вибір відповідного коефіцієнта трансформації трансформатора з ПБЗ трохи покращує режим напруги в мережі, проте діапазон коливань напруги суттєво не змінюється, адже неможливо часто змінювати відгалуження.

Перемикання відгалужень без збудження можливе у загальнопромислових регулюючих масляних та сухих силових трансформаторах, де можна регулювати напругу до  $\pm 5\%$  від заданої номінальної напруги. Такі трансформатори мають 5 гілок відгалужень, кратних  $2,5\% : +5; +2,5; 0; -2,5; -5\%$ . Оскільки відгалуження виконані зі сторони високої напруги (струм в такій обмотці є меншим, ніж струм обмотки низької напруги), тому виводи, клеми та перемикачі – більш ущільнені та компактні. Крім того, оскільки обмотка високої напруги має більше кількісно витків, ніж обмотка низької напруги, – тому виникає можливість більш точно змінювати кількість витків.

Більш ефективно регулювання напруги досягається за допомогою використання силових трансформаторів із функцією РПН. Виконувати його можна як у режимі сталої напруги, коли незалежно від навантаження на вторинній обмотці підтримується постійний рівень напруги, так і в режимі зустрічного регулювання, за якого зі збільшенням

навантаження напруга підвищується, а у разі зниження його до мінімального – зменшується до номінальної.

Трансформатори із функцією регулювання напруги під навантаженням номіналу напруги включно до 35 кВ і від 110 до 220 кВ дозволяють регулювати напругу в нейтралі високої напруги на  $\pm(9\div 16)\%$ .

Триобмоткові автотрансформатори із функцією регулювання напруги під навантаженням класу напруги 220 кВ номінальною потужністю 63–250 МВА мають  $\pm 6-8$  рівнів регулювання напруги в діапазоні  $\pm 12\%$  в лінії середньої напруги.

Багатоступінчасте перемикання відгалужень під навантаженням силових трансформаторів з РПН використовується на підстанціях і є найважливішим засобом централізованого автоматичного регулювання напруги в електричних мережах сільськогосподарського господарства. Місця регулювання напруги вибирають лише за наявності відповідного техніко-економічного обґрунтування. При цьому використання споживчих трансформаторів з перемикачами РПН лише в тих випадках, коли інші засоби регулювання та інші варіанти управління (вольтододаткові автотрансформатори або конденсаторів батареї) недостатньо або економічно недоцільні.

Використовуючи описаний метод регулювання потрібно:

- забезпечити перехід від одного відгалуження до іншого без припинення живлення із обов'язковим своєчасним включенням в певний момент двох сусідніх відгалужень;

- обмежити струм короткого замикання у частині обмотки трансформатора, що розташований між цими відгалуженнями при їхньому одночасному включенні.

Для здійснення регулювання використовують комутаційні пристрої з дистанційним керуванням та струмообмежувальні реактори та резистори, а трансформатори, що призначені для вентильних перетворювачів, – пристрої з вентильним переходом.

Проте, наявна сучасна електрична мережа в Україні характеризується

недостатньо ефективним використанням трансформаторів з РПН, тому РПН в автоматичному режимі практично не використовується, тоді як збільшення вартості трансформатора за рахунок наявності РПН третину його собівартості.

Тому при побутові моделювання динамічних режимів силового трансформатора за допомогою комп'ютерних програм, як "Simulink" або "FlowVision" тощо, потрібно враховувати як його особливості, комплектність, вартість трансформатора і для яких потреб він буде використовуватися.

Отримані дані можна використовувати при проектуванні пристроїв на основі лінійних п'єзоелектричних двигунів, зокрема в системах автоматизації.

Ярославський, А.В. (30-31 травня 2024). *Основні принципи регулювання напруги при комп'ютерному моделюванні силових трансформаторів та автотрансформаторів* [Збірник праць]. 11-та Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2024», Черкаси, ЧДТУ, Україна.

※—————

Yaroslavskiy, A.V. (2024, May 30-31). *Basic principles of voltage regulation in computer modelling of power transformers and autotransformers* [Paper presentation]. 11th International Scientific and Technical Conference "Sensors, Devices and Systems – 2024", Cherkasy, Cherkasy State Technical University, Ukraine [in Ukrainian].

## ЗМІСТ

## ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2024

<b>Гожий О. О.</b> Оперативна пам'ять, як об'єкт дослідження в комп'ютерно-технічних експертизах .....	3
<b>Пташкін Р. Л.</b> Спеціалізовані програмні засоби для дослідження мобільних пристроїв в рамках судових комп'ютерно-технічних експертиз .....	6
<b>Рудаков С. В., Отрош Ю. А.</b> Метрологічне рішення нелінійності рівнянь в складі інформаційно-вимірювальних систем .....	9
<b>Довгаль А. В.</b> Високовольтний вимірювальний підсилювач .....	13
<b>Рашкевич Н. В., Отрош Ю. А.</b> Вдосконалення системи протипожежного захисту трансформаторних підстанцій .....	16
<b>Матюшин О. В., Вислоух С. П.</b> Метод підвищення ефективності процесу оброблення отворів в деталях з композиційних матеріалів .....	19
<b>Лаппо І. М., Чередніков О. М., Ляшенко В. А.</b> Сучасні вимоги до металодетекторів для гуманітарного розмінування .....	23
<b>Потапов О. І., Дробот О. А., Тertiшнік Є. М.</b> Методика побудови кваліметричної моделі високотехнологічної інформаційно-вимірювальної системи до підготовки та проведення випробувань .....	27
<b>Кожевніков В. В., Аксьонов В. В.</b> Використання штучного інтелекту в галузі криміналістики та судової експертизи .....	30
<b>Кошовий М. Д., Костенко О. М., Ковшар Н. Є.</b> Волоконно-оптичний датчик температури .....	33
<b>Гуральник Ф. Б.</b> Використання штучного інтелекту для автоматизації тестування REST API .....	36
<b>Кузьміч О. Є., Аркушенко П. Л., Андрушко М. В., Тertiшнік Є. М.</b> Аналіз характеристик і можливостей застосування вимірювальних систем та датчиків для випробування захисного спорядження сапера .....	38
<b>Тарасенко Я. В., Приходько С. М.</b> Шляхи підвищення ефективності вимірювань при вібраційних випробуваннях .....	40
<b>Ситніков Т. В., Біленко А. О., Бадерко І., Ситніков В. С.</b> Дослідження фазочастотних характеристик при застосуванні однотипних смугових фільтрів для підвищення порядку обробки сигналів .....	42
<b>Купріянов О. М., Ситніков В. С.</b> Аналіз методів обробки даних у розподілених програмованих системах на базі мікросервісної архітектури .....	45
<b>Орлов С. В., Геращенко М. О.</b> Аналіз методів лабораторних вібраційних випробувань радіоелектронної апаратури .....	49
<b>Гордієнко В. І., Васильченко В. Ю., Коваленко О. О.</b> Підвищення точності вимірювання кутових координат в широкому діапазоні кутів оптико електронним датчиком .....	52
<b>Наймитенко С. І., Подорожняк А. О.</b> Стан та перспективи розвитку сервісу для розумного протезу .....	53

<b>Сторчак А. В., Гальченко В. Я.</b> Система вихрострумowego вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів .....	56
<b>Лукаевич В. С., Канашевич Г. В., Мацепа С. М.</b> Оптичне волокно-багатофункціональний елемент сучасного медичного обладнання .....	60
<b>Тичков В. В., Трембовецька Р. В., Тичкова Н. Б., Гальченко В. Я.</b> Непрямі вимірювання фізичних властивостей плоских провідних виробів вихрострумowym методом .....	64
<b>Андрієнко О. М., Колеснікова К. В.</b> Enterprise resource planning (erp)-системи в Україні, поточний стан та перспективи розвитку .....	71
<b>Засядько А. А., Литовченко В. В., Підгорний М. В.</b> N-гранна схема оцінки відмов інформаційної системи "людина-транспортний засіб-середовище" .....	73
<b>Діордіца І. М., Іваненко Р. О.</b> Координатне розташування датчика у різальному інструменті .....	77
<b>Demenskyi O. M., Yerochin S. Yu., Krasnov V. A., Shutov S. V.</b> Improvement of the method of double-drift gap structures formation for ThZ radiation sources .....	79
<b>Kartal K., Lobunko O.</b> Gas turbine technical condition control system heat engine .....	81
<b>Pylypenko T., Tuz V., Shadhin V.</b> Optimization of laser processing by means of network information technologies .....	85
<b>Філімонов С. О., Філімонова Н. В., Бачеріков Д. С. Базіло К. В.</b> Підвищення тягових характеристик лінійного п'єзокерамічного двигуна на основі біморфних п'єзоелементів для використання в системах автоматизації .....	88
<b>Усенко Є. А., Туз В. В., Dzierwa A.</b> Адаптивне керування процесом мультифіламентного 3D друку .....	91
<b>Вязовик В. М.</b> Ініціювання первинних стадій горіння газоподібного палива електроннокаталітичним методом .....	94
<b>Вознюк Є. В., Туз В. В.</b> Використання home assistant для створення єдиної екосистеми .....	97
<b>Ярославський А. В.</b> Основні принципи регулювання напруги при комп'ютерному моделюванні силових трансформаторів та автотрансформаторів .....	100