

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ І МАРКЕТИНГУ**



*XIX Всеукраїнська науково-практична конференція студентів,  
аспірантів та молодих вчених,  
присвячена до 125-річчя КПІ ім. Ігоря Сікорського*

# **ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

20-21 грудня 2023 р.  
м. Київ, Україна

## **Збірник праць конференції**



КИЇВ 2023

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань ефективності перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 122 роботи за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з спеціальностей «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та «Інформаційно-вимірвальні технології».

Адреса Оргкомітету конференції:  
03056, Київ-56, пр. Берестейський, 37, корпус 1, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Приладобудівний факультет, 1720.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та Вченої Ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №10/22 від 25.12.2023 р.).

Відповідальний редактор – С.Л. Лакоза – к.т.н., доц.  
В авторській редакції.

Збірник праць ХІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні”, 20-21 грудня 2023 р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – 480 с.

Видано на замовлення Приладобудівного факультету Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

## **ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:**

1. Тимчик Григорій Семенович — д.т.н., проф., декан ПБФ
2. Кравченко Марина Олегівна — д.е.н., проф., декан ФММ
3. Войтко Сергій Васильович — д.е.н., проф., зав. кафедри міжнародної економіки
4. Безуглий Михайло Олександрович — д. т. н., проф., зав. кафедри КІТВП
5. Антонюк Віктор Степанович — д. т. н., проф. кафедри КІТВП
5. Бурау Надія Іванівна — д.т.н., проф., зав. кафедри КІОНС
6. Колобродов Валентин Георгійович — д.т.н., проф. кафедри КІОНС
7. Киричук Юрій Володимирович — д.т.н., проф., зав. кафедри АСНК
8. Протасов Анатолій Георгійович — д.п.н., проф. кафедри АСНК
9. Єременко Володимир Станіславович — д.т.н., проф., зав. кафедри ІВТ
10. Защепкіна Наталія Миколаївна — д.т.н., проф. кафедри ІВТ
11. Туз Юліан Михайлович — д.т.н., проф. кафедри ІВТ

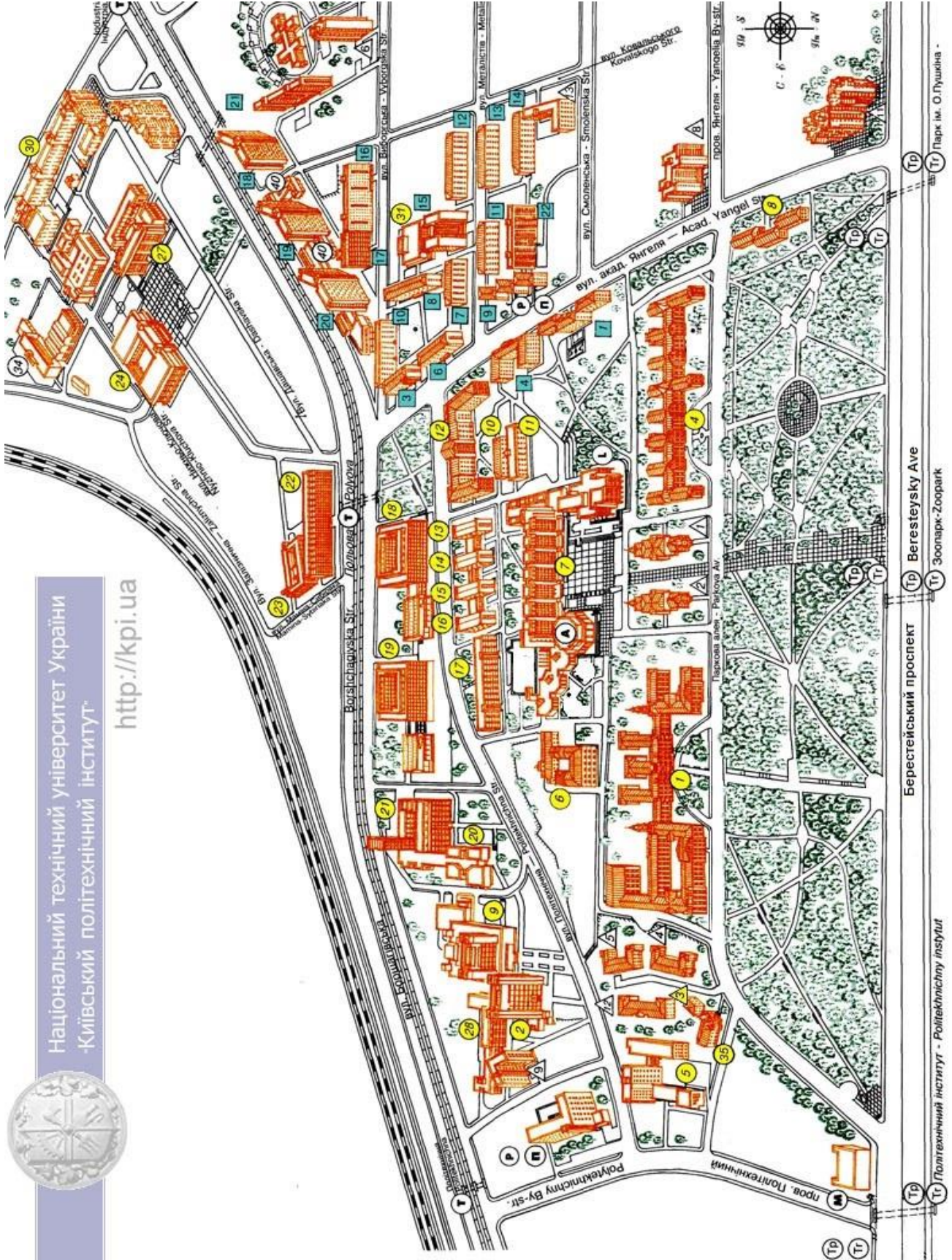
## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

1. Лакоза С.Л. — к.т.н., заст. декана ПБФ з навч.-вих. роботи, голова комітету.
2. Накорик В.В. — студентка ПБФ, заст. голови комітету, секція №1.
3. Лавренюк Д. М. — студентка ПБФ, секція №2.
4. Дубінін Я.Я. — студент ПБФ, секція №3.
5. Косінська А.А. — студентка ПБФ, секція №4.
6. Шестак О.А. — студентка ПБФ, , секція №5.
7. Довбиш І. О. — студентка ПБФ, секція №6.
8. Слепчук В.С. — студентка ПБФ, секція №7.
9. Мазанко Т. О. — аспірантка ФММ, секція №8



Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

<http://kpi.ua>



## З М І С Т

### **СЕКЦІЯ 1. ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА МОНІТОРИНГУ**

<i>Д.М. Виноградов, студент гр. ПГ-01, к.т.н., доц. Павловський О.М.</i> ВИКОНАВЧА ЧАСТИНА ПРОТЕЗУ КИСТІ.....	16
<i>Я.В. Головань, студент гр. ПГ-21мп, к.т.н., доц. Цибульник С.О.</i> РОЛЬ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН В ПІДВИЩЕННІ БЕЗПЕКИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННИХ ГОЛОСУВАНЬ.....	19
<i>A. Danilenko, student PG-21mp, O. Sapelin, PhD.</i> COMPLEMENTARY FILTER IMPLEMENTATION TO AHRS ALGORITHM.....	23
<i>Є.О. Золотарьов, аспірант гр. ПГ-21ф, д.т.н., проф. Бурау Н.І.</i> ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РУХУ ОБ'ЄКТІВ .....	27
<i>Я.Р. Короленко, студент гр. ПГ-21мп</i> МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕМАТИКИ РУХУ КРОКУЮЧОГО РОБОТА В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB.....	30
<i>В.В. Михайловський, студент гр. ПГ-21мп</i> МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ШУМУ ДАТЧИКІВ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ.....	33
<i>В.В. Накорик, студентка гр. ПГ-21мп, к.т.н., доц. Цибульник С.О.</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СТВОРЕННЯ СИЛАБУСІВ ОСВІТНІХ ДИСЦИПЛІН .....	37
<i>А.В. Осовцев, аспірант гр. ПГ-21ф</i> МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА КЛАСУ «МІНІ» НА ДОРОЗІ З ВЕЛИКИМ РІВНЕМ НЕРІВНОСТЕЙ .....	41
<i>С.В. Самойленко, ст. гр. ПГ-21мп, к.т.н., доц. Лакоза С.Л.</i> МЕТОДИ ГРУБОЇ ВИСТАВКИ БІНС НА РУХОМІЙ ОСНОВІ .....	45
<i>І.В. Томчак, студент гр. ПГ-21мп</i> КОМПЕНСАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ ГІРОСКОПІВ ШТУЧНОЮ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ .....	49
<i>А.Ф. Хмирова, студентка гр. ПГ-21мп, к.т.н., доц. Лакоза С.Л.</i> СУЧАСНІ ЗАКОНИ КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТОМ КВАДРОКОПТЕРА.....	53

### **СЕКЦІЯ 2. ЕКОНОМІКА ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНИХ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ**

<i>В.Є.Батій, студент гр. ПГ-21, д.т.н., проф. Боровицький В.М.</i> АНАЛІЗ ТИПІВ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ДИСПЛЕЇВ ДЛЯ РОЗУМНИХ ОКУЛЯРІВ ..	58
<i>О.І. Главацький, студент гр. ПГ-21мп, д.т.н., професор Микитенко В.І.</i> ЗАЛЕЖНІСТЬ ЧУТЛИВОСТІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ВІД ЗМІНИ ЇЇ ПАРАМЕТРІВ .....	62

*В.О.Голик, студентка гр. ПО-31мп, д.т.н., професор Колобродов В.Г.*  
ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНТЕГРАЦІЇ RGB-LWIR ТЕХНОЛОГІЙ У МАШИННОМУ НАВЧАННІ..... 66

*Б.О. Кожушко, студент гр. ПО-21мн, д.т.н., проф. Колобродов В.Г., к.т.н. Васильковська І.О.*  
ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ КОГЕРЕНТНИХ ОПТИЧНИХ СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРІВ..... 70

*С.В. Мельничук, студент гр. ПО-21мн, д.т.н., проф. Колобродов В. Г.*  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З УДОСКОНАЛЕННЯ ОХОЛОДЖУВАННЯ ФОТОПРИЙМАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ОГС ПЗРК ТА ЗАХОДИ ПОЛІПШЕННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГС ..... 73

*В.О. Єресько, студент гр.ПГ-21мп*  
ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ДИФРАКЦІЙНИХ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ..... 77

### **СЕКЦІЯ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

*Ю.О. Бубнов, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.*  
ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ..... 82

*Д.В. Буковська, аспірант гр. ПБ-з31ф, д.т.н., проф. Антонюк В.С.*  
ОСОБЛИВОСТІ ПУСКОВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ..... 86

*О.М. Буковський, аспірант гр. ПБ-з31ф, к.т.н., доц. Вислоух С.П.*  
СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІЖБЛОКОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ ..... 89

*Є.О. Бурковський, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н., доц. Безугла Н.В.*  
РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ. 93

*Є. В. Васильченко, студент гр. ПБ-31мп, к. т. н., доц. Шевченко В. В.*  
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ДЛЯ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ ..... 97

*Р.О. Воронков, аспірант гр. ПБ-31ф, д.т.н, проф. Безуглий М.О.*  
СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ СКЛАДУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БЕЗПЛОТНИМИ ЗАСОБАМИ..... 101

*М.С. Друзев, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н., асист. Велигоцький Д.В.*  
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВИРОБУ ПІД ЧАС 3D-ДРУКУ ..... 105

*А.В. Ледяев, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н, доц. Барандич К.С.*  
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ОБРОБЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ..... 109

*С.О. Мандровська, студентка гр. ПБ-21мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.*  
ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОСЕРЕДКІВ ПОЖЕЖ ЗІ ЗНІМКІВ МАЛОГАБАРИТНИХ БПЛА ..... 114

<i>І.В. Мастенко, аспірант гр.ПБ-11ф, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.</i> МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ДЕФЕКТІВ ВИРОБІВ ТИПУ ТІЛА ОБЕРТАННЯ .....	118
<i>О.В. Матошин, студент гр. ПБ-21мн, к.т.н., доц. Вислоух С.П.</i> ПРОГНОЗУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА РОЗШАРУВАННЯ ОТВОРІВ В ДЕТАЛЯХ ІЗ ВУГЛЕПЛАСТИКУ .....	122
<i>Bogdan Melnychuk, student gr. PB-21mp, Assoc. Prof. Vadym Shevchenko.</i> AUTOMATED SYSTEM FOR CONTROLLING THE SURFACE ROUGHNESS PARAMETERS OF PARTS IN THE CONDITIONS OF «UNMANNED TECHNOLOGY» .....	127
<i>Д.С. Мирза, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Філіпова М.В.</i> УПРАВЛІННЯ МАНПУЛЯЦІЙНИМИ РОБОТАМИ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО ОБ'ЄКТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ .....	131
<i>Є.В. Панкратов, аспірант гр. ПБ-31ф</i> ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ: ВПЛИВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ НА ІННОВАЦІЇ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ.....	135
<i>С.О. Полуектов, аспірант гр. ПБ-31ф, к.т.н., доц. Безугла Н.В.</i> РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИХ РЕФЛЕКТОРІВ.....	139
<i>Д.М. Проскуренко, аспірант гр. ПБ-21ф, д.т.н., проф. Безуглий М.О.</i> СТРУКТУРНА СХЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КАЛІБРУВАННЯ РЕЗЕРВУАРІВ .....	142
<i>А.С. Пугач, студент гр. ПБ-21мп</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДІАМЕТРАЛЬНИХ РОЗМІРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ НА ОБРОБЛЮВАЛЬНОМУ ЦЕНТРІ .....	146
<i>К.А. Романенко, аспірант гр. ПБ-31ф, проф., д.т.н. Безуглий М.О.</i> ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ПОЛЯРИМЕТРА.....	150
<i>Д.С. Селюк, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Шевченко В.В.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ СУШІННЯ ВИРОБІВ .....	154
<i>О.В. Третьяк, аспірантка гр. ПБ-21ф</i> ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ ОБЛАДНАННЯМ.....	157
<i>О.В. Філіппов, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н. Демченко М.О.</i> ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМ ПРОЦЕСОМ.....	161

#### **СЕКЦІЯ 4. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ ТА ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ**

<i>Д.А. Альошин, студент гр. ПМ-21мп, доц. Богдан Г. А.</i> ОГЛЯД СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РОБОТА .....	166
<i>Б. І. Давиденко, студент гр. ПМ-21мп, д.т.н., проф. Черепанська І. Ю.</i> СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ В ЖИТЛОВОМУ БУДИНКУ .....	169

<i>Н.Є. Демочані, студент гр. ПМ-21мп, д.т.н., проф. Черепанська І. Ю.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ НАНЕСЕННЯ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ КУЗВОНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ .....	173
<i>А.А. Косінська, студентка гр. ПМ-01, д.т.н., доц. Киричук Ю. В.</i> СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТА ПІДВАЛЬНОГО ПРИМІЩЕННЯ....	177
<i>О. С. Кравченко, студент гр. ПМ-21мп, к.т.н., доцент Писарець А. В.</i> ОРГАНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ВИТРАТ ВОДИ .....	181
<i>А.В. Куранда, студент гр. ПК-21мп, д.т.н., проф. Киричук Ю.В.</i> ОСНОВНІ НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БІОПОДІБНИМИ РОБОТАМИ В НЕЙРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0 .....	185
<i>О. О. Некрасова, студентка гр. ПМ-21мп, к.т.н., доц. Нечай С. О.</i> АВТОМАТИЗОВАНИЙ РЕАБІЛІТАЦІЙНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ НИЖНЬОЇ КІНЦІВКИ ...	189
<i>А.А. Сакута, студентка гр. ПК-01, доц. Галаган Р. М.</i> СЕРВІСНІ РОБОТИ ТА ЇХ РОЗВИТОК У СВІТІ.....	193
<i>Б.В. Сень, студент гр. ПМ-21мп</i> НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ .....	197
<i>Є.В. Скорик, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н., доц. Півторак Д.О.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОДИ.....	201

## **СЕКЦІЯ 5. ЕФЕКТИВНІ ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ У ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ. ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІТИЧНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

<i>В.В. Андреев, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., доц. Маркіна О.М., к.т.н., доц. Маркін М.О.</i> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА НАВІГАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ В ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ЗБОРУ ДАНИХ НА ЗАКРИТИХ ВОДОЙМАХ.....	206
<i>В.В. Андреев, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., доц. Маркіна О.М., к.т.н., доц. Маркін М.О.</i> ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ІОТ ДЛЯ ЗБОРУ ДАНИХ НА ЗАКРИТИХ ВОДОЙМАХ .....	209
<i>І.С. Богдан, П.В. Гавриленко, студенти гр. ПІ-12</i> КУСКОВО ЛІНІЙНА ТА НЕЧІТКА МОДЕЛІ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ.....	212
<i>П.Р. Васюк, студ. гр. ПІ-12</i> НЕЧІТКЕ ОЦІНЮВАННЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ ОСЕРЕДКІВ ГРАНІТУ .....	216
<i>З.О. Вознюк, студент гр. ПІ-з21мп, О.О. Редько, аспірант гр. ПІ-31ф</i> МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ АЛКОТЕСТЕРІВ ..	220
<i>Ю.О. Гаврилюк, студент гр. ПІ-з21мп, Р.Т. Корень, студент гр. ПІ-21мп</i> ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЩІЛЬНОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ .....	224
<i>В.В. Гаманюк, студент гр. ПІ-з21мп</i> КАЛІБРУВАННЯ АНЕМОМЕТРІВ.....	227



<i>А.В. Гапончук<sup>1</sup>, студентка гр. ПІ-з21мп, к.т.н., доц. Самоїлченко О. В.<sup>2</sup></i> КАЛІБРУВАННЯ ІНФРАЧЕРВОНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ.....	231
<i>О.О. Гапончук, студент гр. ПІ-з21мп, д.т.н., доц. Єременко В.С.</i> РЕГЛОСКОП ЯК ОБ'ЄКТ КАЛІБРУВАННЯ.....	235
<i>В.Д. Демчук, студент гр. ПІ-з21мп, к.т.н., доц. Мокійчук В.М.</i> КАЛІБРУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ СТЕНДІВ .....	239
<i>А.В. Зарудна, студентка гр. ПІ-з21мп, к.т.н., доц. Мокійчук В.М.</i> КАЛІБРУВАННЯ РОБОЧИХ ЕТАЛОНІВ ДЛЯ ПОВІРКИ ЕНЦИФАЛОГРАФІВ .....	243
<i>О.О. Корнієць, студент гр. ПІ-31, к.т.н., ст.в. Морозова М.М.</i> СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ПОШИРЕННЯ ГРИБКОВИХ ІНФЕКЦІЙ.....	247
<i>Д.Є. Куліков, студент гр. ПІ-31мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.</i> ІНТЕРНЕТ-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНИХ ТЕХНОЛОГІЙ JAVA .....	251
<i>В.В. Куліченко, студент гр. ПІ-21мп, д.т.н., проф. Володарський Є.Т.</i> ІНТЕГРАЦІЯ ОЦІНКИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ У ПОБУДОВУ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ: ПІДХІД НА ОСНОВІ ДАНИХ ТА АНАЛІЗУ .....	255
<i>Є.М. Куницький, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., доц. Самарцев Ю.М.</i> СИСТЕМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НАДМАЛИХ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ .....	258
<i>А.М. Мазуренко, студент гр. ПІ-21мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н. М.</i> МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ.....	262
<i>Д.О. Макаров, студент групи ПІ-21мп</i> ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА МАЛОПОТУЖНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ .....	265
<i>В.П. Малько, аспірант</i> ВИМІРЮВАННЯ СУМАРНИХ ГАРМОНІЧНИХ СПОТВОРЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ЗАГАЛЬНОЇ ПРИЗНАЧЕНОСТІ .....	269
<i>М. Л. Микитенко, студент гр. ПІ-21мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н. М.</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МОЛОКА .....	273
<i>Ю.В. Носова, студ. гр. ПІ-32мп, О.В. Однорог, студ. гр. ПІ-21мп, А.Е. Пирогов, студ. гр. ПІ-21мп</i> НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ ВІД СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ .....	276
<i>А.І. Ніколаєв, студент гр. ПІ-32мп, Ю.О. Гаврилюк, студент гр. ПІ-з21мп</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТОВЩИНИ ПЛІВКИ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ .....	279
<i>В.О. Осадчий, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., доц. Козир О.В.</i> МЕТОДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ.....	282
<i>А.С. Павлюченко, студентка гр. ПІ-21мп, к.т.н. Щербань А.П.</i> СИСТЕМА ОЦІНКИ СТРЕСУ ЗА НЕЧІТКОЮ ЛОГІКОЮ .....	285

<i>М.В. Петров, студ. гр. ПІ-32мп, Ю.О. Гаврилюк, студ. гр. ПІ-321мп</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗГАСАННЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ КОНТРОЛІ ВИРОБІВ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	288
<i>О.М. Поліщук, студентка гр. ПІ-321мп, д.т.н., доц. Єременко В.С.</i> ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОКСИМЕТРІВ КРОВІ.....	291
<i>А.Ю. Романенко, студентка гр. ПІ-21мп, PhD, ст. вик. Дорожжінська Г.В.</i> ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ НЕРОЗЧИННИХ ДОМІШОК У ВОДІ ЗА УМОВИ ВИНИКНЕННЯ ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ .....	295
<i>А.Ю. Романенко, студентка гр. ПІ-21мп, PhD, ст. вик. Дорожжінська Г.В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ СЕНСОРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НЕРОЗЧИННИХ ДОМІШОК У ВОДІ .....	299
<i>С.В. Руденко, студ. гр. ПІ-21мп, Р.С. Завгородній, студ. гр. ПІ-21мп, А.М. Мелкумов, студ. гр. ПІ-21мп, К.Я. Мушкет, аспірант</i> ОСЦИЛОГРАФІЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ІМПЕДАНСУ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ.....	302
<i>Т.Д. Савчук<sup>1</sup>, студентка гр. ПІ-321мп, к.т.н., доц. Мокійчук В.М., старший викладач Пащенко Н.В.<sup>2</sup></i> КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ПОВІРКИ ТЕПЛОІЗІЛЯЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ КАЛІБРУВАННЯ.....	305
<i>С.В. Созонов, аспірант</i> СПОСІБ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ МАГНІТОСТРИКЦІЙНОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ ПРИ КОНТРОЛІ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	309
<i>О. Ю. Степанов, студент гр. ПІ-321мп</i> ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ У ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ.....	312
<i>Р.С. Теличко, студент гр. ПІ-32мп, к.т.н., доц. Козир О.В.</i> ПОКАЗНИКИ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ КЛАСИФІКАЦІЇ.....	317
<i>С.С. Черкаський, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., доц. Козир О.В.</i> МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ ХВОРОБ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР..	321
<i>Д.С. Шаповалов, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., ст. викл. Щербань А.П.</i> КЛЮЧОВІ СТАТИСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ВНУТРІШНЬОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ У МЕДИЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ .....	324
<i>С.М. Шевчук, студент гр. ПІ-321мп, д.т.н., доц. Єременко В.С.</i> МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАХОГРАФІВ .....	328
<i>К.А. Шолудько, Р.Т. Корень, студ. гр. ПІ-21мп, д.т.н., проф. Барилко С.В.</i> ВИМІРЮВАННЯ ВІДХИЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ЩІЛЬНОСТІ І ТОВЩИНИ МАТЕРІАЛУ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ .....	332

## **СЕКЦІЯ 6. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОЕКТУВАННІ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ, ТЕХНІЧНІЙ ТА МЕДИЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ**

<i>Д.О. Гайдамака, студент гр. ПК-01</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ.....	336
---	-----

<i>І.О. Довбиш, студентка гр. ПК-11, к.т.н., Муравйов О.В.</i> МЕТОДИ УБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦІВНИКІВ НА ВИРОБНИЦТВІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РІВНЯ ВЗАЄМОДІЇ ЛЮДИНА-РОБОТ .....	340
<i>А. І. Журба, студентка гр. ПК-21</i> ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ТА НЕЙРОМЕРЕЖ В РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СЕРЦЕВИХ ЗАХВОРЮВАНЬ ЗА ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМАМИ.....	344
<i>М.Ю. Заболуєва, студентка гр. ПК-21мп, доктор філософії Момот А. С.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕГМЕНТАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕРЕЖІ ATTENTION U-NET.....	348
<i>М. В. Куранда, студ. гр. ПК-21мп</i> СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ З ВІДДАЛЕНОЮ ОБРОБКОЮ ДАННИХ .....	351
<i>П.І. Лабунський, студент гр. ПК-21мп, к.т.н., доц. Баженов В.Г.</i> АВТОМАТИЧНА ВИХРОСТРУМОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ З ФІКСАЦІЄЮ КООРДИНАТ ДЕФЕКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОЇ МИШІ.....	355
<i>Б.В. Лесковець, студент гр. ПК-21мп, к.т.н., доц. Богдан Г.А.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	359
<i>М.О. Падій, студент гр. ПК-21мп, к.т.н., доц. Богдан Г.А., к.ф.м.н., доц. Суліма О. В.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТУ СЕРВЕРНОЇ КІМНАТИ .....	362
<i>І.Ю. Солонецький, студент гр. ПК-21мп, доц., к.т.н. Баженов В.Г.</i> УЛЬТРАЗВУКОВА АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КРИЛА ЛІТАКА ЗА ДОПОМОГОЮ ІМПЕДАНСНОГО МЕТОДУ .....	366
<i>О. Л. Чернишов, студент гр. ПК-01</i> ЗАСТОСУВАННЯ GMR ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У ВИХРОСТРУМОВОМУ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ.....	370
<i>В.С. Якотюк, студент гр. ПК-01, доктор філософії Момот А.С.</i> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ПОШУКУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА.....	373

## **СЕКЦІЯ 7. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ**

### **БІОМЕДИЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

<i>Б.О. Баталія, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.</i> АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО ГРАДІЄНТУ ВЗАЄМОДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОЛОГІЧНОЮ ТКАНИНОЮ.....	378
<i>М.В. Борута, студентка гр. БС-з21мп</i> МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО ЛІКУВАННЯ ВІРУСНОГО ГЕПАТИТУ С .....	382
<i>М.В. Борута, студентка гр. ПБ-з21мп</i> КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІЙ МОДУЛЬ ВИМІРЮВАННЯ М'ЯЗОВОЇ АКТИВНОСТІ ПЕРЕДПЛІЧЧЯ.....	386

<i>Б.С. Дейнеко, студ. гр. ПБ-22</i> КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ БІОМЕДИЧНИЙ КОМПЛЕКС .....	390
<i>А.П. Ківенко, студент гр. ПБ-02</i> СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗРОШЕННЯ БІОСЕРЕДОВИЩА.....	394
<i>Ю.В. Лобур, аспірант гр. ПБ-31ф, к.т.н, доц. Вонсевич К.П.</i> ОСОБЛИВОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ БІОНІЧНИМ ПРОТЕЗОМ РУКИ .....	398
<i>Г.А. Пащенко, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.</i> КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА ЛАЗЕРНА СИСТЕМА.....	402
<i>Д.К. Подсевак, студент гр. ПБ-з21мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.</i> ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКУ НА БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ ПРИ ДІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО БІОМЕДИЧНОГО КОМПЛЕКСУ .....	406
<i>Р.А. Рогожніков, студ. гр. ПБ-21мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОНИКАННЯ ЛІКАРСЬКИХ РЕЧОВИН В БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ З АВТОМАТИЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ МАГНІТНОЇ ТЕРАПІЇ .....	410
<i>О.В. Ромодан, студентка гр. ПБ-з21мп, к.т.н., доц. Безугла Н.В.</i> ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ГОНІОМЕТРИЧНОГО ТИПУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ .....	414
<i>О.В. Сердюк, аспірантка гр.ПБ-з31ф, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.</i> ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ РЕНТГЕНОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОРГАНІВ ГРУДНОЇ КЛІТИНИ .....	417
<i>В.С. Слепчук, студентка гр. ПБ-02</i> ЛАЗЕРНИЙ АВТОМАТИЗОВАНИЙ ТЕРАПЕВТИЧНИЙ АПАРАТ .....	420
<i>В.В. Терещенко, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н, доц. Вонсевич К.П.</i> АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ МІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ.....	423
<i>В.В. Шалімов, студент гр. ПБ-02</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕРАПІЇ.....	427
<i>М.С. Щур, студентка гр. ПБ-21мп, к.т.н, доц. Вонсевич К.П.</i> АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОДУЛЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТИПУ ПОВЕРХНІ ДЛЯ СИСТЕМИ БІОНІЧНОГО ПРОТЕЗУ .....	431
<i>Ю.А. Юхименко, студ. гр. ПБ-21мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛАМІНАРНОГО ПОТОКУ ПОВІТРЯ З УРАХУВАННЯМ АКУСТИЧНОГО ШУМУ .....	435
<i>Є.О. Якобчук, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н., с.н.с. Клочко Т.Р.</i> АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ЛЕГЕНЕВОЇ ГІПЕРТЕНЗІЇ .....	439

## **СЕКЦІЯ 8. МІЖНАРОДНЕ НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО В ПРИЛАДОБУДУВАННІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0**

<i>Wang Yutong, Master's student, Ph. D, Associate Professor Olena Korohodova</i> THE ROLE OF FOREIGN DIRECT INVESTMENT FOR BILATERAL COOPERATION IN THE ERA OF INDUSTRY 4.0.....	444
<i>А.О. Антонова, студентка гр. УС-21, к.е.н., доц. Глущенко Я.І., к.е.н. доц. Черненко Н. О.</i> РОЗШИРЕННЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА УКРАЇНИ І ЄС У СФЕРІ БЛАКИТНОЇ ЕКОНОМІКИ.....	447
<i>С. В. Войтко, зав. кафедри міжнародної економіки, д.е.н., проф.</i> РОЗВИТОК SMART-МІСТА НА ЗАСАДАХ ІНДУСТРІЯ 4.0 .....	451
<i>І. П. Гайдуцький, д.е.н., доц., С. В. Войтко, зав. каф. МЕ, д.е.н., проф.</i> ДО ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЛАДІВ В ІНДУСТРІЇ 4.0 .....	454
<i>Я.І. Глущенко, к.е.н., доц., О.О. Корогодова, к.е.н., доц., К.В. Петренко, к.е.н., доц., Н.О. Черненко, к.е.н., доц.</i> УРАХУВАННЯ РИЗИКУ ПРИ ТРАНСФОРМАЦІЇ МІЖНАРОДНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ЗАСАДАХ ІНДУСТРІЇ 4.0. З ВИКОРИСТАННЯМ КОНЦЕПЦІЇ ТЕОРІЇ ГРИ.....	457
<i>Д.О. Горошотченко, студент гр. УС-11, к.е.н., доц. Скоробогатова Н.Є.</i> ФІНАНСОВА ЗВІТНІСТЬ ЯК ДЖЕРЕЛО ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ В КОНТЕКСТІ ІНДУСТРІЇ 4.0.....	461
<i>О.О. Зробок, аспірант гр. УС-21ф, д.т.н., проф. Гавриш О.А.</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ПРИЛАДІВ ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ НА РИНКУ ЄС.....	465
<i>А.Л. Симоненко, студ. гр. УС-21, к.е.н., доц. Черненко Н.О., к.е.н., доц. Глущенко Я.І.</i> РОЛЬ СТРАХУВАННЯ У МІЖНАРОДНОМУ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОМУ СПІВРОБІТНИЦТВІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0.....	469
<i>Н.Є. Скоробогатова, к.е.н., доц., Т.В. Іванова, к.е.н., доц., К.В. Петренко, к.е.н., доц.</i> ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ ІКТ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ БІЗНЕСУ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0 .....	473
<i>В.В. Слобоженюк, студент гр. УС-11, к.е.н., доц. Корогодова О.О.</i> ВПЛИВ ІНТЕГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА РОЗВИТОК ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ПОРТУГАЛІЇ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0 .....	477



## **Секція 1.**

# **Ефективність комп'ютерно-інтегрованих систем керування, навігації та моніторингу**

УДК 611.975:976+62-526

*Д.М. Виноградов, студент гр. ПГ-01, к.т.н., доц. Павловський О.М.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ВИКОНАВЧА ЧАСТИНА ПРОТЕЗУ КИСТІ**

**Анотація.** З розвитком технологій виробництва, зокрема 3D-друку, виникає новий підхід до створення протезів рук. Ця відносно нова технологія дозволяє створювати персоналізовані та ефективні рішення для людей з втратою частини руки різного ступеня ампутації, що є особливо актуально на сьогоднішній час. Основні переваги розробленого протезу включають доступність, легкість виробництва та індивідуалізацію відповідно до потреб користувача. Використання 3D-друку дозволяє швидко адаптувати протез до конкретних анатомічних особливостей, забезпечуючи максимальний комфорт та ефективність. У роботі представлено загальний підхід до процесу створення виконавчої частини протезу, включаючи вибір матеріалів, конструкційні особливості та механізми фіксації. Розглянуто можливості інтеграції додаткових функцій, що покращують функціональність протезу, таких як вбудовані сенсори чи механізми управління. Отримані результати підкреслюють перспективність використання 3D-друку в медичній сфері для створення доступних та ефективних рішень для людей з втратою кінцівок.

**Ключові слова:** 3D-друк, протез руки, індивідуалізація, медичні технології.

### **ВСТУП**

У сучасному світі сучасні технології та матеріали відкривають нові перспективи в розвитку медичних та інженерних рішень. Однією з відносно нових та дуже перспективних галузей стає використання 3D-друку для створення протезів кінцівок. Дефіцит високоякісних та персоналізованих протезів особливо гостро постає у наш важкий воєнний час. У той час як традиційні методи виготовлення протезів можуть бути складними та витратними, використання 3D-друку відкриває нові можливості для швидкого та доступного створення індивідуалізованих протезів. Наявність обладнання, яке забезпечує високу якість та точність друку, дозволяє розробляти ефективні рішення, що враховують анатомічні особливості кожного користувача. Такий підхід дозволяє не лише відновлювати базові функції втрачених кінцівок, але і підвищує комфорт та адаптабельність протезу до індивідуальних потреб користувача без особливого здорожчання протезу. Сучасні можливості 3D-моделювання і високоякісного друку дозволяють швидко адаптувати протези до індивідуальних анатомічних особливостей військових, що зазнали травм, а поступове зменшення вартості 3D-друку дозволяє отримувати пошкоджені частини протезу майже в польових умовах не вимагаючи особливих технічних та медичних навичок. Це не тільки сприяє відновленню базових функцій втрачених кінцівок, але й покращує їхню мобільність та адаптацію до різних сценаріїв використання в умовах служби або повсякденного життя.

### **РЕАЛІЗАЦІЯ МАКЕТУ ВИКОНАВЧОЇ ЧАСТИНИ ПРОТЕЗУ КИСТІ**

Як було сказано вище, в роботі розглядається макет протезу кисті виготовлений за допомогою 3D-друку. Загальний вигляд виконавчої частини такого макету показаний на рисунку 1. У даному випадку макет протезу був надрукований за допомогою технології FDM з використанням ABS+ пластику, хоча одразу після виготовлення, було запропоновано закінчення фаланг пальців повністю або частково друкувати за допомогою SLS використовуючи нейлон або резину [1, 2]. Для підвищення якості та роздільної здатності друку в подальшому планується використання технології SLA для друку фотополімерними



пластиками.

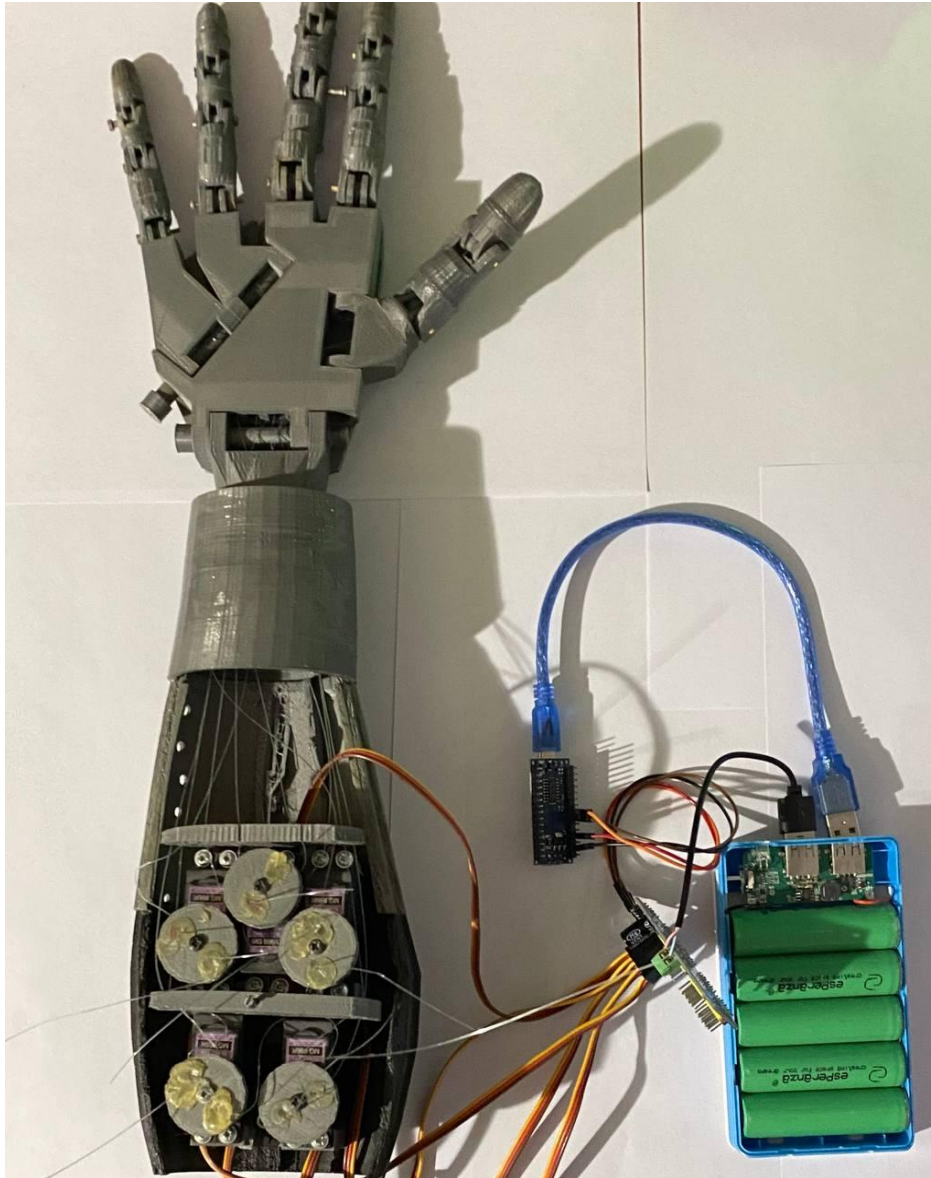


Рисунок 1. Загальна схема протезу кисті руки на основі 3D-друку та мікроконтролера Arduino NANO

Виконавча частина розробленого макету складається із 5 серводвигунів MG996R, що поєднані із подвійними тягами які закріплені на кінцевих фалангах пальців, обертання валу серводвигуна в одну сторону тягне за одну тягу, що призводить до згинання пальця, в іншу – до розгинання [2]. Зупинка серводвигуна в певному проміжку призводить до фіксації і утримування кожного пальця в необхідному статичному положенні. Серводвигуни MG996R відзначаються високим моментом (до  $\sim 11 \text{ кг} \cdot \text{см}$ ), що робить протез здатним утримувати значну вагу (приблизно до 10кг), що є важливим фактором при повсякденному використанні. Керування системою здійснюється за допомогою мікроконтролера Arduino NANO, хоча при ускладненні траєкторій руху пальців і формуванні бібліотеки рухів та жестів даний контролер пропонується змінити на більш потужніший. Для обробки керуючих сигналів від мікроконтролера і узгодженням із живленням серводвигунів використовується 16-канальний 12-бітний ШІМ-контролер на основі PCA9685. Живлення реалізоване у вигляді

набору акумуляторів форм-фактору 18650 в корпусі мобільної батареї для швидкої заміни.

Зазвичай, керування такими протезами відбувається на основі сформованих бібліотек рухів, проте не дивлячись на те, що всі рухи умовно можна розділити на стандартні категорії і групи вони є індивідуальними для кожного користувача. Тому для швидкого відлагодження макету протезу і створення такої бібліотеки запропоновано використовувати створений інтерфейс на основі програмного пакету NI LabVIEW. Такий інтерфейс дозволить користувачу самостійно визначати та налаштовувати жести в майбутньому, зменшуючи залежність від зовнішньої допомоги.

## **ВИСНОВОК**

В роботі було показано, перспективу використання технологій 3D-друку при виготовленні протезів кінцівок, що особливо актуально у наш час. Продемонстрована можливість виготовлення виконавчої частини протезу за допомогою технології FDM з використанням ABS+ пластику. В подальшому, для підвищення точності друку та конструктивних характеристик макету протезу запропоновано використовувати технологію SLA для друку фотополімерними пластиками. Для керування рухами пальців протезу використовуються п'ять серводвигунів MG996R, що з врахуванням конструкції макету дозволяють утримувати вагу близько 10кг. Для формування бібліотеки рухів реалізовано інтерфейс на основі програмного пакету NI LabVIEW, крім цього в подальшому інтерфейс дозволить користувачу самостійно визначати та налаштовувати жести. Проте найбільшою складністю при реалізації функціоналу макету протезу є система давачів інформації яка має відслідковувати рухи оператора, які в свою чергу після відповідної обробки мають призводити до руху виконавчої частини протезу. Такі питання будуть розглянуті у подальшому і не висвітлюються в даній роботі.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Переваги та недоліки 3D-друку [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://3d4u.com.ua/uk/blog/post/101-preimusshestva-i-nedostatki-3d-pechati>
- [2] 3D Printed EMG Prosthetic Hand [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.instructables.com/3D-Printed-EMG-Prosthetic-Hand/>
- [3] Грандюк, А. І. Оптимізація живлення кіберпротезу руки / А. І. Грандюк, О. М. Павловський // Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання : зб. тез доп. 5-ої наук.-практ. конф. студентів і молодих учених / Кісіль І.С., ред. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. - С. 53-54.

*Науковий керівник: к.т.н., доц. О.М. Павловський*

**УДК 004.5**

*Я.В. Головань, студент гр. ПГ-21мп, к.т.н., доц. Цибульник С.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **РОЛЬ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН В ПІДВИЩЕННІ БЕЗПЕКИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННИХ ГОЛОСУВАНЬ**

**Анотація.** Основна цінність технології блокчейн полягає у вирішенні проблеми недовіри між учасниками мережі. Блокчейн — це децентралізована технологія зберігання інформації, яка представляє собою послідовність блоків, кожен із яких містить історію транзакцій та підписи, а також хеш попереднього блоку. Це робить блокчейн незмінним та захищеним від внесення змін без згоди всіх учасників мережі, і як наслідок, вирішує проблему участі третьої, довіреної сторони, у виборчому процесі. В цій статті проведено короткий огляд причин і можливостей інтеграції технології блокчейн в системи електронних голосувань.

**Ключові слова:** блокчейн, електронне голосування, транзакція, підпис, смарт-контракт.

### **ВСТУП**

На даний момент існує вже цілий ряд систем електронного голосування. Частина з них вже використовується за призначенням в кількох десятках країн, а деякі ще перебувають в процесі розроблення або на етапі проектування. Саме блокчейн розглядається як ефективне рішення для забезпечення чесності в електронному голосуванні через вирішення ключової проблеми – централізації. Основна концепція полягає у децентралізації зберігання даних, де кожен учасник мережі має свою власну копію даних. Зміни внесені в систему поширюються поступово та автоматично між усіма учасниками. Це ускладнює підробку результатів голосування, оскільки для цього потрібно підмінити всі копії даних для всіх користувачів, що є практично неможливим завданням.

### **СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ГОЛОСУВАННЯ**

Електронне голосування - це процес отримання голосів виборців за допомогою електронних систем, зазвичай підтримуваних комп'ютерами та мережами. Замість традиційних паперових бюлетенів та урн для голосів, учасники виборів можуть використовувати різноманітні технології, такі як комп'ютери, мобільні телефони або інші електронні пристрої, щоб віддати свій голос.

Метою електронного голосування є полегшення і прискорення процесу виборів, зменшення помилок під час підрахунку голосів, а також забезпечення більшої чесності виборів, тож як наслідок, такі системи вимагають високого рівня безпеки та захисту, оскільки їх вразливість може впливати на долю цілих країн.

Слід зазначити, що надійна система електронного голосування повинна відповідати певним обмеженням [1]:

1. Система не повинна генерувати жодних квитанцій для підтвердження виборцем свого голосу.
2. Голос одного виборця не повинен впливати на голос іншого виборця.
3. Система повинна забезпечувати цілісність даних. Мається на увазі, що інформація не може бути змінена після її збереження.
4. Персональні дані виборців та інформація про їх голоси повинні залишатись конфіденційними та анонімними.

5. Система електронного голосування має бути стійкою до кібератак для запобігання втрат голосів.
6. Одна з ключових вимог – забезпечення механізму одноразового голосування однієї особи.
7. Виборець повинен мати право перевірити, чи його голос враховано при підрахунку голосів.

Електронне голосування може приймати різні форми, включаючи голосування через інтернет, електронне голосування на виборчих дільницях або використання спеціалізованих електронних пристроїв [1]. Будь яка система електронного голосування повинна принаймні включати етапи реєстрації, автентифікації, голосування, підрахунку голосів та публікації результатів [1].

Перше використання електронної системи голосування відбулося у 2000 році в США. На даний момент, системи електронного голосування, так чи інакше, використовуються в Франції, Великобританії, Іспанії, Ірландії, Естонії, Португалії, Нідерландах, Парагваї, Фінляндії, Австрії, Німеччині та Норвегії [2]. Естонія була першою країною, яка дозволила дистанційне електронне голосування на національних парламентських виборах 2007 року, після вдалого тестування системи під час проведення невеликих виборів у 2005 році [2].

## **НЕДОЛІКИ ТРАДИЦІЙНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННИХ ГОЛОСУВАНЬ**

Традиційні системи електронного голосування використовують різні методи захисту інформації, які здебільшого ґрунтуються на захисті інформації від несанкціонованого доступу шляхом її шифрування, але ці підходи можуть бути менш ефективними порівняно з системами, побудованими на технології блокчейну, зокрема з точки зору безпеки та прозорості. Розглянемо кілька найпопулярніших причин, чому традиційні системи можуть бути менш захищеними [3]:

1. Багато традиційних систем мають централізовану архітектуру, як наслідок – всі дані зберігаються та обробляються в одному центрі. Це може збільшити безпекові ризики, оскільки збій або хакерська атака на єдиний вузол призведе до втрати працездатності всієї системи.
2. У традиційних системах електронних голосувань зазвичай використовують централізоване управління базами даних, що робить їх більш вразливими до кібератак та внутрішніх загроз.
3. Через відсутність механізму, схожого на блокчейн традиційні системи можуть мати обмежену прозорість у зборі та обробці даних. Виборці можуть не мати повної впевненості в тому, як точно обробляються їх голоси і чи зараховуються вони взагалі.

Традиційні системи електронних голосувань, які використовують в собі виключно методи захисту інформації шляхом її шифрування, без сумніву, є великим досягненням людства в цій галузі. Проте з розвитком обчислювальної техніки такі підходи можуть ставати все менш надійними. Технологія блокчейну може вирішити деякі з цих проблем, оскільки вона пропонує, в першу чергу, децентралізовану систему з високими показниками безпеки даних.

Використання такого підходу дозволить побудувати прозору, та одночасно анонімну систему електронних голосувань, в якій кожен виборець зможе перевірити вплив свого голосу на кінцевий результат [4].

## ІНТЕГРАЦІЯ БЛОКЧЕЙНУ В СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОННОГО ГОЛОСУВАННЯ

Як зазначалось раніше, блокчейн може допомогти впровадити незмінну, прозору та ефективну систему, яку неможливо зламати, оскільки блоки не можна змінити або видалити. Отже, у блокчейна є всі шанси вирішити проблеми традиційної системи електронного голосування. Архітектура системи електронного голосування, побудованої на використанні технології блокчейн зображено на рисунку 1.

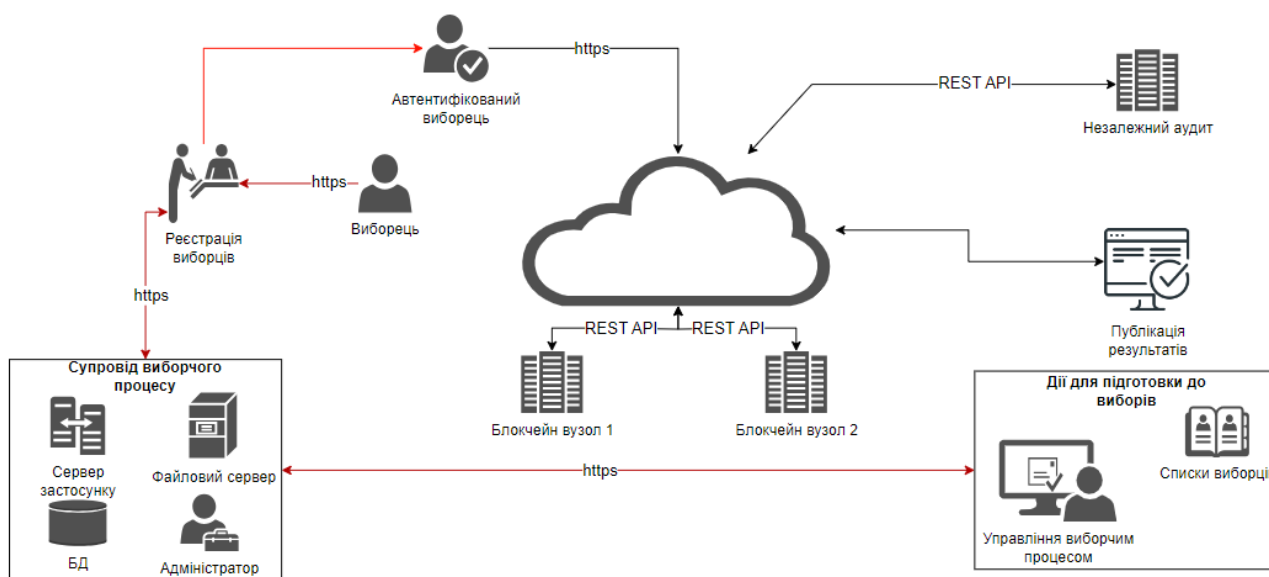


Рисунок 1. Архітектура системи електронного голосування з використанням технології блокчейн [1]

Смарт-контракт – це програмний код, який виконується автоматично на блокчейні при виконанні певних умов [5]. Вони є ключовим елементом технології блокчейну та децентралізованих систем. Основна ідея смарт-контрактів полягає в тому, щоб автоматизувати виконання угод між сторонами без необхідності посередників.

Смарт-контракти можуть гарантувати безпеку автентифікації виборців, використовуючи унікальні біометричні дані або інші ідентифікаційні параметри. Кожен вибір буде пов'язаний з унікальним ідентифікатором, забезпечуючи конфіденційність голосування та унеможливлення розголошення інформації про виборців [5].

Смарт-контракти визначають умови, за яких голос може бути прийнятий як дійсний. Вони автоматично перевіряють правомірність кожного голосу, виключаючи можливість підроблення чи подвійного голосування.

Смарт-контракти можуть автоматично підраховувати голоси, ефективно уникаючи помилок, що можуть виникнути при ручному підрахунку. Це прискорює

процес підрахунку голосів та оголошення результатів, а також робить виборчий процес більш прозорим, оскільки за допомогою смарт-контрактів можна створювати децентралізовані електронні аудиту, які буде легко перевірити громадськістю [5].

Як зазначалось раніше, система, побудована на блокчейні та смарт-контрактах, має високий рівень стійкості до втручання, оскільки кожен блок є незмінним, а будь-яка спроба модифікації вимагатиме консенсусу всіх учасників мережі [5]. Це одна з основних переваг використання блокчейну в системах електронних голосувань, де потрібен потужний засіб захисту інформації.

Отже, використання такої технології в системах ЕГ дозволить підвищити рівень захисту, надійності систем. Інтеграція блокчейну зі смарт-контрактами в систему електронного голосування дозволяє створити надійний, прозорий та незмінний механізм, який враховує принципи справедливості та демократії в електронних виборах[4, 5].

## **ВИСНОВОК**

У цій статті розглянуто переваги інтеграції технології блокчейн в системи електронного голосування з метою забезпечення безпеки та довіри до виборчого процесу. Блокчейн, як децентралізована технологія, вирішує ключові проблеми централізованих систем, такі як можливість втручання, підробка голосів та усуває недовіру між учасниками мережі.

Використання смарт-контрактів у системі електронного голосування дозволяє гарантувати безпеку автентифікації виборців, уникати підробки голосів та подвійного голосування, автоматизувати підрахунок голосів, а також забезпечити конфіденційність і анонімність голосів. Система, побудована на такій базі, має високий рівень стійкості до кібератак і втручання, що робить її надійним механізмом для проведення виборів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] A Systematic Review of Challenges and Opportunities of Blockchain for E-Voting URL: <https://www.mdpi.com/2073-8994/12/8/1328> (дата звернення: 18.10.2023).
- [2] Esteve, J.B.; Goldsmith, B.; Turner, J. International Experience with E-Voting. URL: <https://www.parliament.uk/documents/speaker/digital-democracy/IFESIVreport.pdf> (дата звернення: 19.10.2023).
- [3] Стогова О. В., Мурач Д. В. ЕЛЕКТРОННЕ ГОЛОСУВАННЯ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ. URL: [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/86308/1/Stohova\\_voting.pdf](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/86308/1/Stohova_voting.pdf) (дата звернення: 09.12.2023).
- [4] Voting using blockchain and smart contracts URL: <https://medium.com/swlh/voting-using-blockchain-and-smart-contractsd-8a277892732f> (дата звернення: 20.10.2023).
- [5] What are smart contracts on blockchain? URL: <https://www.ibm.com/topics/smart-contracts> (дата звернення: 22.10.2023).

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Цибульник С.О.*

УДК 629.7

A. Danilenko, student PG-21mp, O. Sapelin, PhD.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

## COMPLEMENTARY FILTER IMPLEMENTATION TO AHRS ALGORITHM

**Abstract.** Using of cheap microelectromechanical sensors may be accompanied by some significant problems. Micro gyroscopes have huge bias instability, which limits time of accurate measurements of AHRS. Kalman filter can combine gyro and accelerometers measurements to make huge system precision. On the over hand, this filter developing can be uneasy and complicated. It can diverge in some cases. Paper provides research of algorithm of AHRS based on complementary filter fusion. System consists of both gyroscopes and accelerometers real data and developed software.

**Key words:** complementary filter, microelectromechanical, AHRS, control.

### INTRODUCTION

The need to determine the angular position of various objects such as smartphones, game controllers, drones, etc. cannot be used large-sized, heavy and complex systems with high-precision sensitive elements. They become a solution modern microelectromechanical sensitive elements of orientation systems allow widely use classical methods and approaches of inertial navigation. Of course, micromechanical devices are significantly inferior in accuracy to classical systems, but their cheapness and miniaturization allows you to use them in systems that are not require high accuracy.

Basic attitude algorithm uses angular rate signal integration in particular kinematic equation. The main problem is an accuracy (especially bias instability) of gyros. It became more crucial with MEMS sensors with typical bias instability in hundreds of degrees per second.

The way it works is combining different sensors like gyroscopes, accelerometers, magnetometers as vel as GPS receivers in one complete system [1–2].

### ATTITDE ALGORITHM

Determination of attitude refers to the task of obtaining current information about the angular position of an object in space. Essentially, it is need to determine the incline of the object's body frame according to navigation frame (Fig.1).

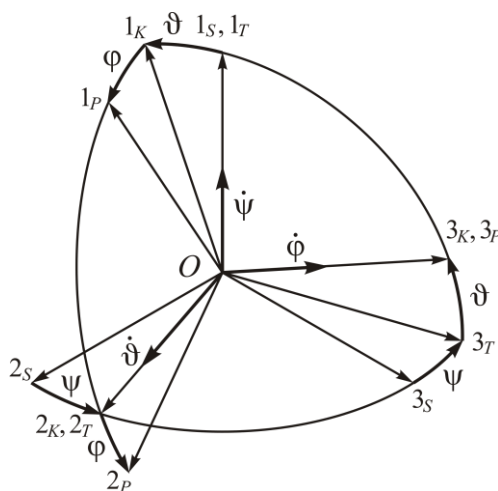


Figure 1. Euler–Krulov angles

To define attitude there are kinematic parameters:

- 1) angles (Euler–Krulov, as usual);
- 2) direction cosines matrix;
- 3) Euler’s vector parameters or quaternions. [3].

The most commonly used are quaternions. Quaternion attitude equation presented below.

$$\frac{d\mathbf{Q}^{SP}}{dt} = \frac{1}{2} \mathbf{Q}^{SP} \circ \boldsymbol{\Omega}_P^{PS}; \quad (1)$$

where  $\mathbf{Q}^{SP}$  – rotate quaternion of body frame  $P$  relative to navigation  $S$ ;  $\boldsymbol{\Omega}_P^{PS}$  – quaternion-vector with zero scalar part and angular rate projections vector part.

Integration of equation (1) allows us to find particular orientation of the body frame. There are lot of numerical integration methods for (1) presented in papers [3–5]. Eq. (1) presents in this form

$$\mathbf{Q}_{n+1} = \mathbf{Q}_n \circ \mathbf{N}_{n+1}; \quad (2)$$

where  $\mathbf{Q}_{n+1}$  – on-step quaternion;  $\mathbf{Q}_n$  – initial or previous-step quaternion;  $\mathbf{N}_{n+1}$  – unknown time-function witch we need to find while integration.

Two-order accuracy Piccard’s method for integration of (2) has been used in this research presented below:

$$\mathbf{N}_{(2)}(h) = 1 + \frac{1}{2} \boldsymbol{\omega}_o h + \frac{1}{2} (\boldsymbol{\varepsilon} - \frac{1}{4} |\boldsymbol{\omega}_o|^2) h^2; \quad (3)$$

where  $\boldsymbol{\omega}_o$  and  $\boldsymbol{\varepsilon}$  are polynomial interpolation components of angular vector projections;  $h$  – integration step.

### COMPLEMENTAR FILTER DEVELOPMENT

Significant bias instability of MEMS gyros requires developing specific mathematical and software solutions. One of this is complementar filter (Fig.2) [6].

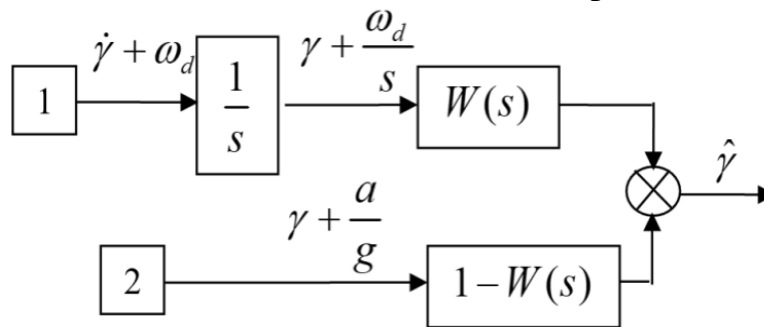


Figure 2. Complementar filter flow-chart

Fig. 2 presents: 1 – gyros; 2 – accelerometers;  $\gamma$  – incline angle;  $\omega_d$  – gyros bias instability;  $a$  – acceleration;  $\hat{\gamma}$  – compensated output signal.

In supposition that  $W(s) = \frac{s}{Ts+1}$ , filter can be transformed into first-order filter (Fig.3).



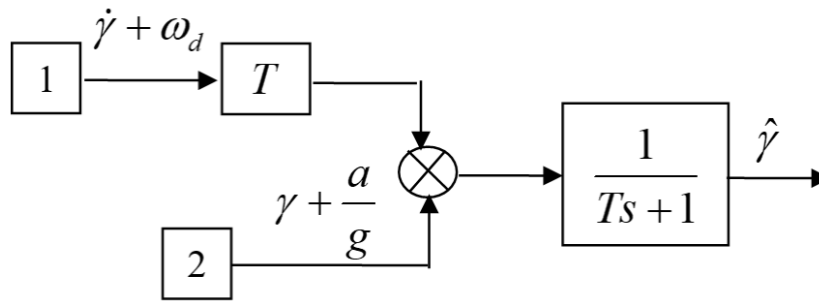


Figure 3. First-order complementary filter

Filter error can be found from next equation

$$\delta_{t=0} = \frac{\tau a}{Tg}; \delta_{t \rightarrow \infty} \rightarrow T\omega_d; \quad (4)$$

where  $\tau$  – small time interval;  $T$  – time constant.

Fig.3 presents how easily can be developed and provided complementary filter. It need only to find time constant for specific moving attributes.

$\gamma$  angle calculated by integration of (2) (gyroscopes signals requires) and from accelerometers, for instance, by gyrocompassing method from [4].

## EXPERIMENT

For studying suggested algorithms AHRS prototype was made. MEMS IMU MPU 6050 was used. It was mounted on rotation stand. Several tests were made with rotation around different axis with different velocity.

Signal from gyros while stand rotation with angular velocity presented on Fig.4 a).

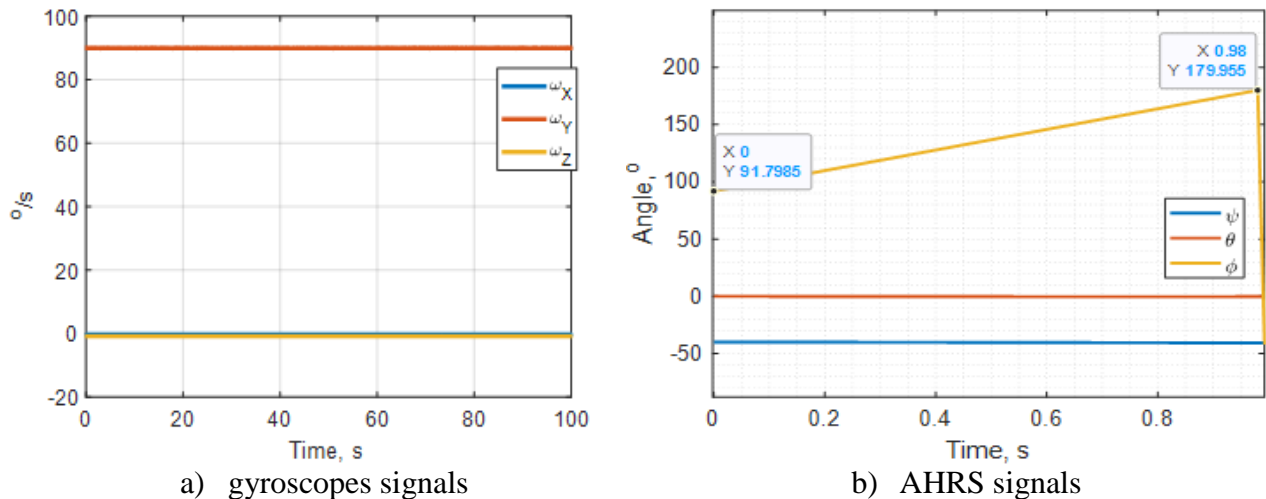


Figure 4. IMU rotation around Y axis

When rotating around the Y axis, the stand in 0.98 s should deviate by  $88.154^\circ$ . On the other hand, it can be seen from Fig.4 b), that according to the simulation results, the deviation angle is  $\phi = 88.157^\circ$ . Thus, the system error is  $0.0029^\circ$ .

## CONCLUSIONS

The extreme relevance of inertial navigation solutions in the widest applications

requires the use of algorithmic support of the increasing the accuracy. However, high-precision sensitive elements are not always available. The proposed development approach using a complementary filter allows combining measurements of gyroscopes and accelerometers to significantly increase the accuracy of the system.

The resulting system includes all the necessary components and has shown adequate performance. For further use with high-precision sensors, it is sufficient to set the appropriate calibration coefficients of the available inertial measurement unit.

Looking forward, the adaptability of this system becomes even more apparent when considering its seamless integration with high-precision sensors. The incorporation of more accurate components, such as advanced gyroscopes and accelerometers, becomes a straightforward process. Fine-tuning the calibration coefficients within the inertial measurement unit accommodates the improved precision, providing a scalable and adaptable solution. This future-proofing aspect ensures the continued relevance and efficacy of the navigation system for applications that demand the highest levels of accuracy.

In conclusion, the proposed development approach, centered around the integration of a complementary filter to merge gyroscope and accelerometer measurements, stands as a pragmatic solution to the challenge of limited access to high-precision sensitive elements. This strategy not only elevates the accuracy of inertial navigation systems but also establishes a foundation for scalability, adaptability, and seamless integration with high-precision sensors, making it a compelling choice for a diverse array of applications.

## REFERENCES

- [1] D. Titterton and J. Weston, Strapdown Inertial Navigation Technology. 2004. DOI: 10.1049/pbra017e.
- [2] O. J. Woodman, “An introduction to inertial navigation,” Cambridge, 2007. DOI: 10.1119/1.3081061.
- [3] O. Sapehin, (2024). Developing of Strapdown Inertial Attitude System. In: Bezuglyi, M., Bouraou, N., Mykytenko, V., Tymchyk, G., Zaporozhets, A. (eds) Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control, vol 511. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-44347-3\_11
- [4] P. G. Savage, “Blazing Gyros – The Evolution of Strapdown Inertial Navigation Technology For Aircraft,” J. Guid. Control. Dyn., vol. 36, no. 3, pp. 637–655, 2013.
- [5] P.G. Savage, Coning algorithm design by explicit frequency shaping. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 33(4), 1123-1132. DOI: 10.2514-1.47337
- [6] O. Sapegin and G. Strokach, «Мікромеханічний інклінометр», Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak., вип. 59(1), с. 24–29, DOI: 10.20535/1970.59(1).2020.210007

*Наук. керівник – к.т.н. Сapeгін О.М.*

**УДК 531.383**

*Є.О. Золотарьов, аспірант гр. ПГ-21ф, д.т.н., проф. Бурау Н.І.*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РУХУ ОБ'ЄКТІВ**

**Анотація.** В даній роботі показано розроблену систему візуалізації даних інерційної навігаційної системи з використанням Nod-RED, яка може бути використана для керування та відстеження положення і руху безпілотних рухомих об'єктів.

**Ключові слова :** Nod-RED, система візуалізації, технології інтернету речей.

### **ВСТУП**

В історії технологічного розвитку важко переоцінити вплив Інтернету речей (IoT). Ця інноваційна концепція дозволяє об'єднувати фізичні пристрої зі світовою мережею, створюючи безмежні можливості для збору та аналізу даних. Одним із найцікавіших та важливих напрямків використання IoT є візуалізація руху об'єктів. Ця технологія не лише дозволяє відстежувати рух різних об'єктів у реальному часі, але й вносить значний внесок у безпеку, управління та оптимізацію різноманітних процесів.

Node-RED – це потужний візуальний інструмент, побудований на базі JavaScript, який спрощує створення потоків даних та забезпечує інтеграцію між різними пристроями та сервісами IoT. Він пропонує велику кількість вбудованих вузлів для роботи з різними протоколами, пристроями та сервісами, що значно спрощує розробку IoT-систем.

В роботі демонструються візуалізація даних орієнтації та координат інерційної навігаційної системи фірми «Inertial Labs» за допомогою Node-RED. Використання Node-RED дозволяє розробляти нові системи візуалізації, збору та аналізу даних про рух безпілотних об'єктів, що дозволить проводити комплексний моніторинг та діагностику їхньої роботи.

### **ОСНОВНА ЧАСТИНА**

Системи візуалізації даних – окремий напрям досліджень. Огляд останніх розробок для безпілотних підводних апаратів показує використання Nod-RED. В статті [1] показано використання Nod-RED для безпілотного підводного апарату «BlueRov2».

В нашій роботі показано приклад власної розробки системи візуалізації даних для інерційної навігаційної системи (ІНС) за допомогою Node-RED. В проекті здійснено конфігурацію вузлів Node-RED для отримання даних з INS по формату «OPVT2AHR»[2] через порт RS232.

Основні етапи обробки даних включають:

- Налаштування порту RS232. Вузол «serial-port» налаштовує параметри з'єднання із зчитуванням даних з порту RS232;
- Відправлення команд до ІНС: Вузли «ui\_button» надсилають команди OPVT2AHR та STOP для запуску або зупинки роботи приладу;
- Отримання та обробка даних: дані, що надходять через порт RS232, обробляються функціями, де розпаковується бінарний потік даних із зазначеними структурами;

- Аналіз та візуалізація даних: відповідно до типу даних, зчитаних ІНС, дані про орієнтацію, навігацію відображаються на інтерфейсі користувача за допомогою графіків, карт або інших візуальних елементів.

Дані координат та орієнтації, що отримані з ІНС відображаються в режимі реального часу через простий та легкий у використанні веб-інтерфейс (рис.1). Для цього необхідно перейти за посиланням «<http://127.0.0.1:1880/ui>». Також є можливість доступу до графічного інтерфейсу з інших пристроїв, таких як мобільний телефон. Картографічні координати відображені на карті, в той час як параметри орієнтації (такі як кут крену, тангажу та курсу) представлені в окремих віджетах.

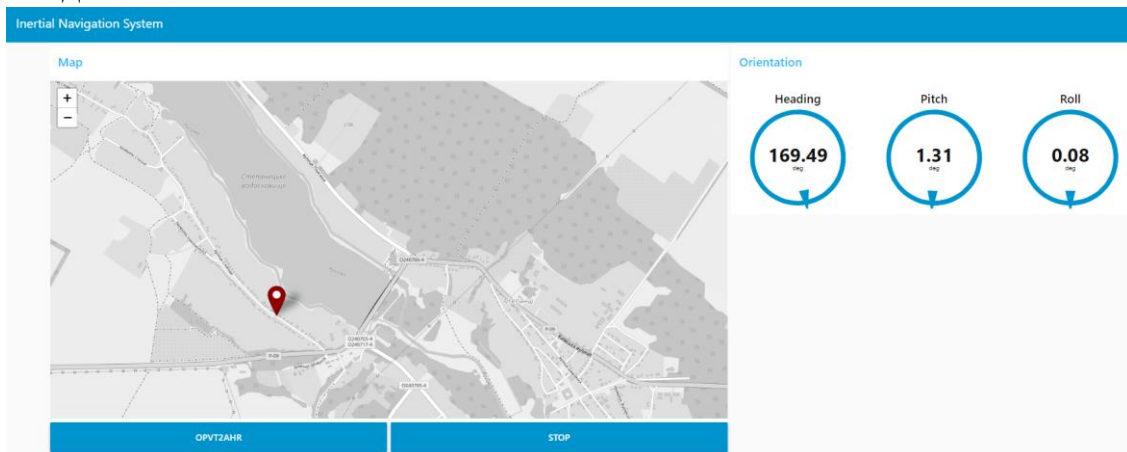


Рисунок 1. Система візуалізації даних ІНС, розроблена на основі Nod Red

Вигляд вихідного графічного коду, системи візуалізації даних ІНС в середовищі розробки Nod-RED показано на рис. 2, що представляє собою вузли, які логічно з'єднані між собою у вигляді потоків.

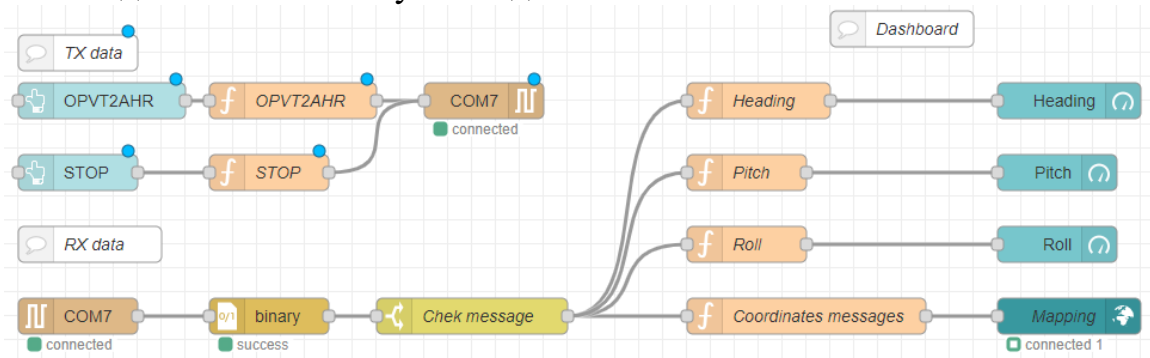


Рисунок 2. Вигляд системи візуалізації даних ІНС в середовищі розробки Nod-RED

В проєкті використовувались сторонні бібліотеки для серійного порту [3] та візуалізації dashboard [4].

Переваги Node-RED:

- Графічний інтерфейс: візуальне програмування у вигляді потокової діаграми спрощує розуміння та розробку програм;
- Широкий вибір вузлів: має велику бібліотеку вбудованих вузлів, які значно спрощують створення різноманітних програм та розв'язання завдань;
- Легка інтеграція: підтримує різні протоколи та інтерфейси API, що

полегшує взаємодію з іншими системами;

- Екосистема розширень: має можливість розширення за допомогою власних вузлів та бібліотек;
- Спільнота користувачів: широка спільнота користувачів допомагає вирішувати проблеми та надає багато корисних матеріалів.

Недоліки Node-RED:

- Обмеження складності завдань: для деяких складних задач може бути не достатньо вузлів або потребувати написання власних;
- Використання пам'яті: у великих проєктах може виникнути проблема з використанням пам'яті, особливо при великій кількості вузлів;
- Node-RED є потужним інструментом, який підходить для багатьох завдань, але його використання варто розглядати з урахуванням конкретних вимог та обмежень проєкту.

## **ВИСНОВКИ**

Зроблений концепт системи візуалізації даних для ІНС, розроблено програмне забезпечення графічного інтерфейсу і керування що реалізовано в інструментарії для візуального програмування «Node-RED» з поєднанням онлайн-сервісів, як складових частин Інтернету речей. Проаналізовані переваги і недоліки використання «Node-RED»

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1]Бурау, Н. І., Золотарьов, Є. О. (2023). Системи візуалізації руху безпілотних підводних апаратів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Тавр. нац. ун-т ім. В. І. Вернадського, Том.34 (73), № 3, С. 83-89.
- [2]Example of parsing data of the OPVT and OPVT2AHR data formats. (б. д.). Inertial Labs. <https://inertiallabs.com/example-of-parsing-data-of-the-opvt-and-opvt2ahr-data-formats/>
- [3]node-red-node-serialport. (б. д.). Library - Node-RED. <https://flows.nodered.org/node/node-red-node-serialport>
- [4]node-red-dashboard. (б. д.). Library - Node-RED. <https://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard>

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Бурау Н.І.*

УДК 62-523.8, 510.5

Я.Р. Короленко, студент гр. ПГ-21мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕМАТИКИ РУХУ КРОКУЮЧОГО РОБОТА В СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ

**Анотація.** В даній роботі представлена методика моделювання кінематики крокуючого робота в програмному середовищі MATLAB.

**Ключові слова:** моделювання, безпілотний крокуючий робот, візуалізація, кінематика.

### ВСТУП

В останні роки велика увага приділяється розробці мобільних роботів, оскільки вони займають важливе місце в різних сферах застосування та галузях. Серед різних видів мобільних роботів, крокуючі мобільні роботи виявляються особливо цікавими для досліджень та розробок. Головна мета цих роботів полягає в імітації характеристик біологічних організмів, роблячи їх більш ефективними для пересування в нерівній та неструктурованій місцевості.

Дослідження в області моделювання та керування такими мобільними роботами є актуальною науковою проблемою. Здобуття базових характеристик біологічних організмів через розробку моделей і прототипів для них є складним і трудомістким завданням. Відповідно до цього, виникає потреба в програмних засобах, які сприяють ефективному моделюванню та допомагають в реалізації досліджень у реальному часі.

Одним з популярних інструментів для вирішення цих завдань є використання MATLAB. MATLAB надає зручний інтерфейс для створення програмних моделей, які дозволяють досліджувати та тестувати поведінку механічних систем, зокрема, мобільних роботів на ногах. Це дозволяє вченим та інженерам легко проектувати та тестувати роботів в тривимірному просторі, спрощуючи процес розробки та зменшуючи помилки перед створенням фізичних прототипів [1].

### ЗАДАЧІ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ КРОКУЮЧОГО РОБОТА

При створенні будь-якого крокуючого робота, одним з перших завдань розробника є побудова кінематичної моделі ноги робота, що проектується. При цьому нога здебільшого складається з 3-х суглобів, кожен з яких обертається навколо відповідної осі [2].

На рис.1 представлений загальний вигляд ноги крокуючого робота, на якому зображено: Суглоб 1 - це місце, де нога з'єднується з тілом робота (яке називається "грудна клітка"); ланка 1 називається "кісточка"; ланка 2 - "стегнова кістка";

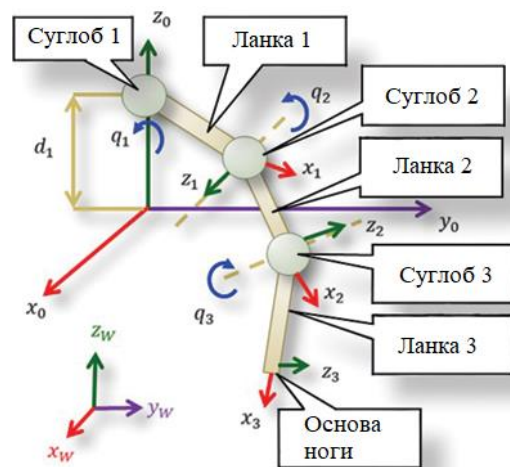


Рисунок 1. Модель ноги крокуючого робота [2].

ланка 3 - "гомілкова кістка" [2].

Задача з кінематики полягає в тому, щоб при відомих довжинах ланок та відомих кутах поворотів суглобів визначити позицію, в якій буде знаходитись основа ноги. Для вирішення цієї задачі або будують кінематичні рівняння на основі кінематики ноги, представленої на рис. 1, або використовують алгоритм Денавіта-Хартенберга.

Після отримання рівнянь кінематики ноги робота, наступним кроком стає отримання зворотних кінематичних рівнянь, які дозволять задавати кінцеву позицію ноги робота і отримувати необхідні кути повороту суглобів для переміщення ноги в цю позицію.

На відміну від проблеми прямої кінематики, процедура отримання рівнянь значною мірою залежить від конфігурації робота, що робить її складною процедурою, оскільки систематично отримувати ці рівняння дуже складно, навіть просто неможливо. Здебільшого це зводиться до вирішення системи рівнянь з трьома невідомими.

Тільки після отримання зворотних кінематичних рівнянь стає можливим виконувати моделювання крокуючого робота.

## **ВИКОРИСТАННЯ ПАКЕТУ MATLAB ПРИ МОДЕЛЮВАННІ КРОКУЮЧОГО РОБОТА**

Виходячи з завдань, що стоять перед виконавцем при моделюванні крокуючих роботів, використання потужних інструментів для спрощення складних розрахунків стає ключовим завданням. Один із таких ефективних інструментів - MATLAB, який може використовуватись як самостійний інструмент, так і з різноманітними тулбоксами. Саме його використовують у більшості існуючих робіт з моделювання крокуючих роботів [1-3].

При моделюванні крокуючого робота в базовому MATLAB зручно використовувати його потужність для обробки рівнянь кінематики. MATLAB має вбудовані функції для роботи з матрицями та векторами, що дозволяє легко представляти та обробляти складні кінематичні розрахунки.

Розрахунки рівнянь кінематики для крокуючого робота часто включають матриці перетворень для визначення положення суглобів ніг в просторі. MATLAB надає зручний інтерфейс для використання таких матриць, спрощуючи обчислення і забезпечуючи зручний доступ до розрахунків просторової координатної геометрії.

Для запису та відстеження положень суглобів ніг можна використовувати матриці або вектори, що забезпечує чітку структуру даних для подальшого аналізу та модифікації.

Окрім того, в MATLAB можна використовувати функції візуалізації, наприклад, plot, для графічного відображення руху крокуючого робота. Це дозволяє аналізувати та відстежувати його рухи в реальному часі, а також допомагає в ілюстрації результатів моделювання, як, наприклад показано на рис. 2.

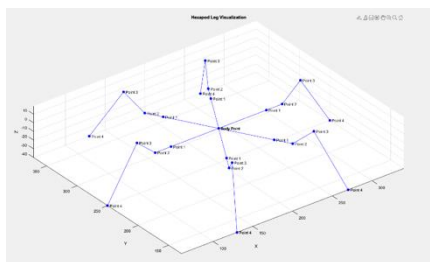


Рисунок 2. Приклад візуалізації крокуючого робота

Загалом, базовий MATLAB стає потужним інструментом для моделювання крокуючих роботів завдяки своїм вбудованим функціоналом для роботи з математичними обчисленнями, лінійною алгеброю та візуалізацією.

У процесі моделювання крокуючих роботів, використання ряду тулбоксів у MATLAB стає важливим етапом для покращення точності та ефективності розрахунків. Один із ключових тулбоксів - MATLAB Simscape Multibody, спрямований на моделювання механічних систем. Завдяки йому, інженери можуть ефективно визначати та оптимізувати кінематичні та динамічні характеристики крокуючих роботів, враховуючи різні аспекти їх конструкції та рухової діяльності [1].

Також, MATLAB Optimization Toolbox стає невід'ємним інструментом для автоматизації та оптимізації параметрів моделей крокуючих роботів. Застосування цього тулбоксу дозволяє вирішувати задачі оптимізації, що забезпечує досягнення оптимальних значень параметрів робота для максимізації його продуктивності.

MATLAB SimMechanics є іншим інструментом, який забезпечує інтегроване моделювання та симуляцію механічних систем. Використання цього тулбоксу у поєднанні з MATLAB дозволяє вирішувати завдання, пов'язані з кінематикою та динамікою крокуючих роботів, враховуючи реалістичні властивості їх конструкцій та рухової діяльності [3].

## ВИСНОВКИ

У висновку можна відмітити, що розробка та моделювання крокуючих роботів представляє собою складний, але важливий напрямок в області робототехніки. MATLAB виявляється потужним інструментом для вирішення завдань прямої та зворотної кінематики, дозволяючи легко обробляти рівняння, відстежувати положення суглобів і візуалізувати результати моделювання. Використання тулбоксів, таких як Simscape Multibody, Optimization Toolbox та SimMechanics, допомагає зробити процес ще більш ефективним, надаючи інженерам засоби для оптимізації та інтегрованого моделювання механічних систем крокуючих роботів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Beaber, Sameh & Zaghoul, Abdelrahman & Kamel, Mohamed & Hussein, Wessam. (2018). Dynamic Modeling and Control of the Hexapod Robot Using Matlab SimMechanics. V04AT06A036. 10.1115/IMECE2018-88226.
- [2]Urrea C, Valenzuela L and Kern J (2016) Design, Simulation, and Control of a Hexapod Robot in Simscape Multibody. Applications from Engineering with MATLAB Concepts. InTech. Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/63388>.
- [3]Gurel, Canberk Suat. (2017). Hexapod Modelling, Path Planning, and Control.

*Наук. керівник – д.т.н., проф., зав. кафедри Бурау Н.І.*



**УДК 629.127**

*В.В. Михайловський, студент гр. ПГ-21мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ШУМУ ДАТЧИКІВ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ**

**Анотація.** В даній роботі представлено моделювання системи керування кутом курсу безпілотного підводного апарату. Аналіз відхилення сигналу системи керування кутом курсу від заданого сигналу при дії детермінованих завдань та шуму при роботі МЕМС датчиків.

**Ключові слова:** автономний безпілотний підводний апарат (АБПА), система керування (СК), моделювання, мікроелектромеханічна система (МЕМС).

### **ВСТУП**

Автономні безпілотні підводні апарати (АБПА) грають ключову роль у важливих галузях, таких як наукові дослідження морського середовища, картографування океанського дна, мінно-підводні роботи, нафтовидобувні операції та військові операції. Вони також важливі для моніторингу клімату, пошуку і рятування, економії людських ресурсів та моніторингу рибництва. Ці апарати дозволяють виконувати завдання в умовах, що небезпечні або недоступні для людей, сприяючи при цьому розвитку науки та збереженню навколишнього середовища [1].

Розробка якісної системи керування рухом (СК) є вирішальним етапом у створенні АБПА. СК відповідає за ефективне маневрування апаратом для виконання різноманітних завдань, таких як утримання бажаної швидкості, курсу чи слідування за заданою траєкторією. Управління підводними апаратами є викликом через його складність. АБПА представляють собою багатовимірні нелінійні системи з перехресною взаємодією між ступенями свободи. Також вони мають високу невизначеність параметрів і піддані впливам зовнішніх факторів, таких як течії та хвилі. У разі оснащення апарата різним корисним навантаженням для різних місій, управління стає ще складнішим, оскільки це впливає на його динаміку та маневреність. Усі ці аспекти ускладнюють врахування факторів, що впливають на АБПА. Розробка системи керування на основі повної математичної моделі потребує великих витрат часу, тому на початковому етапі досліджень використовуються спрощені моделі та аналіз СК із застосуванням програмних засобів для моделювання та аналізу.

Для вирішення задач проектування та дослідження систем керування буде використовуватись інструментарій MATLAB / Simulink. Це потужне програмне забезпечення для чисельного моделювання, аналізу та синтезу систем автоматичного керування. MATLAB / Simulink надає інженерам та дослідникам зручний інтерфейс для розробки, відлагодження та тестування алгоритмів керування для АБПА.

### **ВИКОРИСТАННЯ МЕМС ДАТЧИКІВ У СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМИ БЕЗПІЛОТНИМИ ПІДВОДНИМИ АПАРАТАМИ**

В останні роки велика увага приділяється використанню мікроелектромеханічних датчиків (МЕМС) в автономних безпілотних підводних апаратах. Ці датчики користуються таким попитом завдяки своїм перевагам,

таким як низька вартість, висока надійність і компактні розміри. Вони стали об'єктом інтенсивного розвитку, завдяки використанню групових технологій мікроелектроніки. Зазвичай створюються інтегровані системи, які включають в себе блок інерціальних МЕМС-датчиків та приймач сигналу систем навігації та контролю положення. Системи керування, які використовують подібну схему наведені у роботах [2-4].

Однак, разом із своїми перевагами слід відзначити, що точність мікромеханічних датчиків поки не завжди може повністю відповідати всім потребам. Виникнення похибок у вимірюваннях мікромеханічних приладів часто пов'язане з температурними впливами, вібраціями та перехресним прискоренням. Зміни температури в навколишньому середовищі можуть призводити до змін в діелектричній проникливості, розмірах маятника та приводу катушок у магнітоелектричному датчику моменту. Ще однією причиною виникнення похибок у вимірюваннях є шум. Шум включає в себе будь-яку складову у вихідному сигналі, яку можна розглядати як наслідок впливу фізичної величини, яку вимірюють, і яка фактично є результатом зовнішніх або внутрішніх завад [5].

Врахування похибок МЕМС датчиків має бути важливим етапом при моделюванні системи керування автономного безпілотного підводного апарата.

Визначення впливу спотвореності сигналів з датчиків на якість системи керування АБПА є досить актуальною задачею і може суттєво допомогти покращити точність та надійність автономного підводного апарата під час реальної експлуатації.

### **ВИБІР ТА ОПИС МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ У SIMULINK**

Для проведення дослідження було обрано модель, яка розглядалася у роботах [1,6]. Дана модель описує систему керування кутом курсу АБПА і складається з вільного гіроскопа (датчик кута), диференціюючого гіроскопа (датчик кутової швидкості), підсилювача та виконавчого органу з жорстким зворотним зв'язком і об'єкта керування (безпілотний підводний апарат).

Схему було доопрацьовано шляхом врахування на виходах вільного і диференціюючого гіроскопа адитивних шумових завад, які було сформовано генераторами випадкових величин. Таким чином можна промоделювати вплив на систему керування шумів або інших шкідливих чинників, які виникають при роботі МЕМС датчиків. Всі параметри в системі були підібрані з умови, що виконується моделювання АБПА класу міні [1]. Значення генерації шумів у блоках Random Number були підібрані з огляду на наведені дані у роботі [5]. Simulink-модель для проведення дослідження зображено на рис. 1.

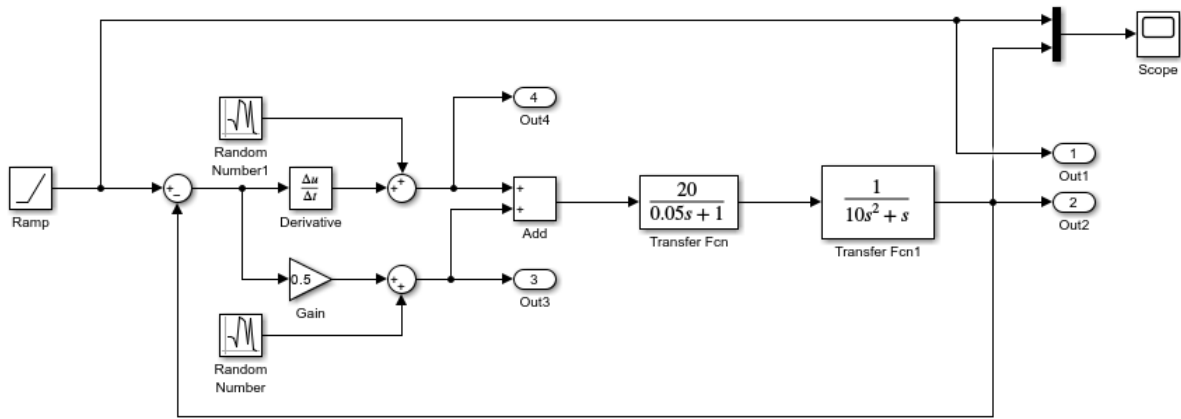


Рисунок 1. Simulink-модель системи керування курсом АБПА

На вхід системи подається керуючий сигнал кута курсу. На його місці у моделі стоїть блок генерації Ramp, який подає лінійну функцію. Такий сигнал описує рух АБПА по дуговій траєкторії (значення курсу лінійно змінюється з часом). На виході системи ми отримуємо дійсне значення курсу.

Об'єкт керування (АБПА) описується передатною функцією Transfer Fcn 1. Загальна передатна функція ланок, охоплених місцевим жорстким зворотнім зв'язком, описується блоком Transfer Fcn. Блок Derivative описує диференціюючий гіроскоп і виконує чисельне диференціювання сигналу. Gain – вільний гіроскоп.

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ШУМУ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ КУТОМ КУРСУ

Час моделювання було виставлено на проміжку 60 с. Після проведення моделювання були отримані наступні результати (рис. 2): шуми, які були додані до моделі майже ніяк не вплинули на роботу системи.

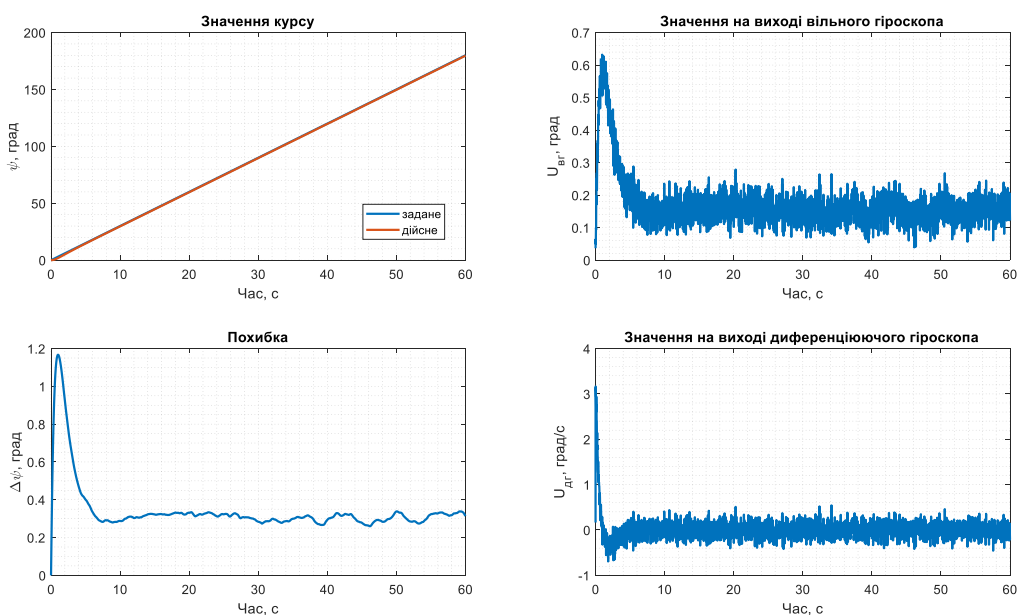


Рисунок 2. Результати моделювання системи керування

Відхилення дійсного значення курсу від заданого має найбільше значення в  $1.15^\circ$  в момент перехідного процесу. Далі це відхилення приходить до усталеного значення в  $0.3^\circ$ . Такі результати є подібними до тих, що були отримані в роботі [1].

Попри зазначене вище, варто і далі провести ряд досліджень, пов'язаних з визначенням впливу на динамічні характеристики системи керування похибок, детермінованих завад та шуму при роботі МЕМС датчиків. Уточнення параметрів моделі відповідно до характеристик конкретних датчиків і моделей АБПА може дати більш конкретні результати. Також необхідно дослідити вплив зовнішніх неконтрольованих моментів на систему, наприклад, шляхом моделювання турбулентностей або різких потоків води.

## ВИСНОВКИ

Система керування безпілотними підводними апаратами має свої обмеження, які ще потрібно дослідити та знайти способи їх усунути, або, принаймні, оптимізувати. Тема впливу зашумленості сигналів МЕМС датчиків потребує подальших досліджень. А наразі неможливо зробити однозначного висновку щодо якості роботи системи в таких умовах. Уточнення параметрів системи і проведення додаткових досліджень може дати більш наближені до реального практичного застосування результати. Також важливим є питання швидкодії системи при відпрацюванні різких маневрів або впливу на АБПА зовнішніх неконтрольованих моментів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Бобрик, В. С. Система керування безпілотним підводним апаратом : магістерська дис. : 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Бобрик Владислав Сергійович. – Київ, 2018. – 100 с.
- [2] Busquets J. Low-cost AUV based on Arduino Open Source Microcontroller Board for oceanographic research application / J. Busquets, J. Busquets, T. Dionisio. – 2012. – P. 10.
- [3] Rout R. Control of Autonomous Underwater Vehicles / Rout Raja – National Institute of Technology Rourkela, Rourkela, 2012. – 91 p.
- [4] Masmitja I. Development of a control system for an Autonomous Underwater Vehicle / I. Masmitja, G. Masmitja, J. Agudelo. – 2010. – P. 5.
- [5] Клименко, А. М. Фільтрація сигналів чутливих елементів систем орієнтації і навігації : магістерська дис. : 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Клименко Анастасія Максимівна. – Київ, 2020. – 92 с.
- [6] Зубик, Н. О. Моделювання системи керування кутом курсу безпілотного підводного апарату / Н. О. Зубик // XVIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених “Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні”, 06-07 грудня 2022 р, м. Київ, Україна : збірник праць конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С. 15-17. – Бібліогр.: 4 назви.

*Наук. керівник – д.т.н., проф., зав. кафедри Бурау Н.І.*

УДК 004.5

В.В. Накорик, студентка гр. ПГ-21мп, к.т.н., доц. Цибульник С.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СТВОРЕННЯ СИЛАБУСІВ ОСВІТНІХ ДИСЦИПЛІН

**Анотація.** Автоматизована система створення супровідних документів в освітньому процесі дозволяє ефективно формувати силабуси, забезпечуючи стандартизований підхід до їх створення. У даній статті описано графічний інтерфейс користувача та можливості цієї системи. Вона пропонує користувачам готовий шаблон для створення силабусу, дозволяючи заповнювати інформацію щодо дисципліни швидко та ефективно. Система має інтерактивний графічний інтерфейс користувача, що надає можливість заповнювати блоки за допомогою різних взаємодій, наприклад, ручне введення даних, вибір з випадального меню, вибір зі списку стандартних варіантів, тощо.

**Ключові слова:** автоматизована система, силабус, шаблон, графічний інтерфейс користувача.

### ВСТУП

У сучасному освітньому середовищі швидкість, ефективність та точність у створенні супровідних документів є важливою частиною цього процесу [1]. Використання автоматизованих систем для формування супровідних документів освітнього процесу, зокрема силабусу, допомагає надати стандартизований вигляд усім створеним документам. Саме через це було розроблено автоматизовану систему створення супровідних документів освітнього процесу.

Силабус – це документ, який містить усю інформацію про курс; цей документ формується викладачем і слугує для студента планом вивчення дисципліни [2]. Запропонована система дозволяє створювати силабуси з мінімальними витратами часу й зусиль, дотримуючись усіх правил заповнення, оскільки силабус повинен включати певні обов'язкові пункти [3], такі як система оцінювання, академічна доброчесність, перелік лекцій, практичних занять та інші.

### ЗАГАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

Розроблена автоматизована система створення супровідних документів освітнього процесу, а саме силабусів, дозволяє користувачам створювати силабуси за уже готовими шаблонами, заповнюючи тільки необхідну інформацію щодо певного курсу. Для початку роботи із системою користувач повинен перш за все авторизуватися.

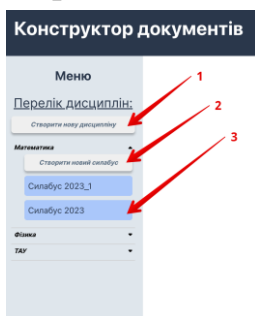


Рисунок 1. Меню автоматизованої системи

Після авторизації користувачу потрібно створити дисципліну за допомогою кнопки «Створити дисципліну», що позначена номером 1 на рис. 1. Система також підтримує можливість роботи з декількома дисциплінами. Для наявних дисциплін є можливість створити силабуси (відбувається за допомогою кнопки «Створити силабус», що виділена номером 2 на рис. 1). Для кожної дисципліни може бути створено декілька силабусів. Система також

має функцію редагування силабусів, яка стає доступною після натискання назви необхідного силабусу (позначка 3 на рис. 1). Після відкриття обраного силабусу

користувачу доступний для редагування шаблон, елементи якого зображено на рис. 2.

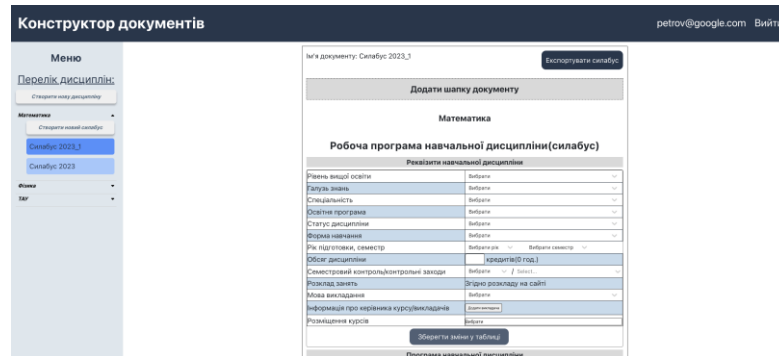


Рисунок 2. Інтерфейс користувача при відкритому шаблоні

## ВАРІАНТИ ЗАПОВНЕННЯ ШАБЛОНУ СИЛАБУСУ НЕОБХІДНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ

Створення автоматизованої системи передбачало розроблення шаблону, включаючи аналіз та поділ силабусу на окремі блоки. Кожен із цих блоків відображає певний пункт, таблицю або розділ у силабусі. Відповідно до необхідної структури було сформовано шаблон силабусу, який частково представлено на рис. 2. Шаблон щойно створеного силабусу є незаповненим, тобто кожен блок містить тільки загальну статичну інформацію (наприклад, назви розділів, структура початкової таблиці, тощо), яку користувач не може редагувати, тільки адміністратор системи..

Окрім того, кожен блок із шаблону силабусу є інтерактивним, тобто користувач може натиснути на нього і заповнити певною інформацією. Відповідно до цього, у розробленій системі існують різні типи взаємодії користувача з інтерактивними елементами.

Першим варіантом взаємодії є заповнення блоку «Додати шапку документу». У цьому варіанті взаємодії користувач має перелік доступних графічних елементів із шапками. Кожен із цих варіантів може бути обраним. Загальний інтерфейс заповнення та стан вибраного блоку наведено на рис. 3. Оскільки у документу може бути тільки одна шапка, у даному випадку взаємодії у користувача є можливість обрати тільки один з наявних блоків.

Для додавання обраного блоку у шаблон силабусу, який редагується, необхідно натиснути на кнопку «Підтвердити вибір».

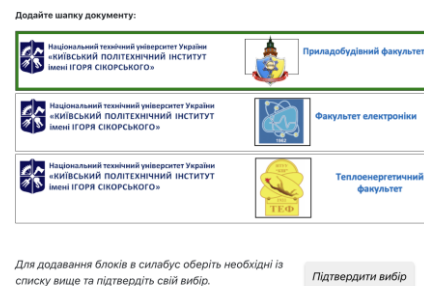


Рисунок 3. Блок для вибору шапки документу

Вигляд шаблону силабусу після додавання блоку наведено на рис.4. Варто зауважити, що більшість елементів силабусу функціонують описаним вище алгоритмом.

Ще одним варіантом взаємодії є заповнення таблиці «Реквізити навчальної дисципліни». Відповідно до проведеного аналізу силабусу встановлено, що ліва колонка таблиці є статичною (тобто незмінною), а права частина таблиці повинна бути заповнена користувачем. Поля «Рівень вищої освіти», «Галузь знань», «Спеціальність», «Освітня програма», «Статус дисципліни», «Форма навчання», «Рік підготовки, семестр», «Мова викладання» заповнюються за допомогою випадаючих меню.

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	Вибрати
Галузь знань	перший(бакалаврський)
Спеціальність	другий(магістерський)
Освітня програма	третій(освітньо-науковий)
Статус дисципліни	
Форма навчання	
Рік підготовки, семестр	
Обсяг дисципліни	кредитів(0 год.)

Рисунок 5. Випадаюче меню для рядка таблиці «Рівень вищої освіти»

Для заповнення рядка «Семестровий контроль/контрольні заходи» використовується два випадаючих меню. У частині «Семестровий контроль» користувач має змогу обрати тільки один варіант: екзамен або залік.

Форма навчання	Вибрати
Рік підготовки, семестр	Вибрати рік / Вибрати семестр
Обсяг дисципліни	кредитів(0 год.)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Вибрати / мкр ж ркр ж   x
Розклад занять	Згідно розкладу / поточний контроль
Мова викладання	Вибрати / ДКР
Інформація про керівника курсу/викладачів	Додати викладача / тематичний контроль
Розміщення курсів	Вибрати

Рисунок 6. Випадаюче меню із декількома варіантами вибору

Рядок «Обсяг дисципліни» заповнюється за допомогою вводу числа кредитів у призначене для цього поле, при чому, вводиться лише кількість кредитів, а години розраховуються автоматично (1 кредит = 30 год).

Рядок «Інформація про керівника курсу/викладачів» заповнюється додаванням за допомогою кнопки «Додати викладача», що виділена номером 1 на рис. 7, форми для заповнення інформації.

За допомогою цієї кнопки може бути додано декілька форм для різних викладачів. Також є можливість видалити додану форму.

Заповнення таких полів у формі як «Група», «ПБ», «Пошта» відбувається вводом тексту безпосередньо у ці поля. Поля «Науковий ступінь», «Наукове звання», «Посада» заповнюються за допомогою випадаючих меню із відповідною інформацією.

Рядок таблиці «Розміщення курсів» заповнюється за допомогою вводу тексту у призначене для цього поле. На рис.8 зображено заповнену таблицю

Національний технічний університет України «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
 Приладобудівний факультет  
**Математика**  
 Робоча програма навчальної дисципліни(силабус)  
 Реквізити навчальної дисципліни

Рисунок 4. Макет шаблону силабусу із доданою шапкою

Кожне із цих меню містить відповідні варіанти вибору. Приклад випадаючого меню для рядку таблиці «Рівень вищої освіти» наведено на рис. 5. Із кожного меню користувач може обрати лише один варіант.

Для заповнення рядка «Семестровий контроль/контрольні заходи» використовується два випадаючих меню.

У частині «Семестровий контроль» користувач має змогу обрати тільки один варіант: екзамен або залік.

Проте частина «Контрольні заходи» заповнюється за допомогою випадаючого меню із вибором одразу декількох варіантів. Кожен варіант може бути доданий або видалений окремо, або ж є можливість видалити усі додані варіанти одночасно. Приклад даного меню наведено на рис.6.

Семестровий контроль/контрольні заходи / Вибрати / мкр ж ркр ж | x

Розклад занять / Згідно розкладу на сайті

Мова викладання / Вибрати

Інформація про керівника курсу/викладачів / Додати викладача (1) / Видалити / Макс.ст. / Макс.звання / Посада

Розміщення курсів / Вибрати

Рисунок 7. Приклад доданої форми для заповнення інформації

відповідно до описаних вище варіантів взаємодій. Для збереження даних таблиці у базу даних, необхідно натиснути кнопку «Зберегти зміни у таблиці».

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	перший(бакалаврський)
Галузь знань	15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані тех...
Освітня програма	Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в п...
Статус дисципліни	нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	1 курс осіний
Обсяг дисципліни	5 кредитів(75 год.)
Семестровий контроль/контрольні заходи	екзамен / ДРР Ж МКР Ж РРР Ж
Розклад занять	Згідно розкладу на сайті
Мова викладання	українська
Інформація про керівника курсу/викладачів	Додати викладача ІП-2 Іван Іванович доцент старш. викл.
	Іванов Іван Іванович ivanov@gmail.com
Розміщення курсів	Додати викладача ІП-2 Петро Петрович професор професор
	Петров Петро Петрович petrov@gmail.com

Зберегти зміни у таблиці

Рисунок 8. Заповнена таблиця «Реквізити навчальної дисципліни»

## ВИСНОВКИ

Формування силабусів є важливою частиною освітнього процесу. Проте через відсутність єдиного стандарту для формування силабусів виникають певні проблеми під час їх створення. Саме тому було розроблено автоматизовану систему, що надає можливість створювати силабуси освітніх програм за єдиним шаблоном.

У даній роботі висвітлено загальний зовнішній вигляд та функціональні можливості розробленої автоматизованої системи. Також, було наведено частину розробленого шаблону силабусу, який можна заповнити використовуючи створену систему. У створеному шаблоні силабусу є багато блоків із різними варіантами їх заповнення. Показано основні варіанти взаємодії кінцевого користувача з інтерактивними елементами шаблону силабусу.

У подальшому планується додати можливість розширення функціоналу системи за рахунок введення нових шаблонів за різними стандартами освіти.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Засторожнікова І.В. Електронний документообіг в освіті. *Державне управління та місцеве самоврядування*. 2020, Вип. 3(46), с. 100-105. URL: <https://journals.politehnica.dp.ua/index.php/public/article/view/162> (дата звернення: 04.12.2023).
- [2] Чепурна С. Силабус як засіб організації самостійної роботи студентів під час педагогічної практики. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2020, Том 5(27), с. 215-219. URL: <https://doi.org/10.24919/2308-4863.5/27.204529> (дата звернення: 05.12.2023).
- [3] Батечко Н., Панталієнко Л. Силабуси навчальних дисциплін: сучасні підходи до формування змісту підготовки фахівців інженерних спеціальностей. *Освітологічний дискурс*. 2020, Том 3(30), с. 68-83. URL: <https://doi.org/10.28925/2312-5829.2020.3.5> (дата звернення: 05.12.2023).

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Цибульник С.О.*



**УДК 621.317**

*А.В. Осовцев, аспірант гр. ПГ-21ф*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА КЛАСУ «МІНІ» НА ДОРОЗІ З ВЕЛИКИМ РІВНЕМ НЕРІВНОСТЕЙ**

*Анотація.* Для аналізу ефективності системи стабілізації важливо дослідити залежності між параметрами системи та випадковими збуреннями які будуть впливати на них. Такими випадковими збуреннями є нерівності доріг або профіль дороги, який описується стаціонарним випадковим процесом з нормальним законом розподілення. Об'єктом стабілізації є широкий спектр громадського та військового обладнання, а сама система стабілізації може бути встановлена на малогабаритних рухомих об'єктах, особливістю якого є проблема подолання перешкод під час руху по місцевості. Існує багато засобів для покращення систем стабілізації, одним з яких є застосування цифрового ПІ-регулятора. В даній роботі розглядається вплив профілю дороги на прикладі поганої дороги (з великим рівнем нерівностей), та аналіз точності системи стабілізації з ПІ-регулятором у контурі керування та без нього.

*Ключові слова:* система стабілізації обладнання, профіль дороги, мобільні роботи, моделювання нерівності, випадкові збурення, ПІ-регулятор.

### **ВСТУП**

Сьогодні у багатьох сферах широко використовуються антени, оптико-електронні пристрої, радары, лазерні далекоміри, обладнання військового призначення і багато іншого, але залишається проблема пов'язана з стабілізацією цього обладнання в умовах комплексного впливу зовнішніх збурень[1]. Збурення зумовлені складністю різноманіття динаміки руху об'єкта, специфікою середовища використання, конструктивними недоліками встановлення обладнання на об'єкті. В якості об'єктів на яких встановлюється таке обладнання розповсюдженими є мобільні роботи, які набули широкого розповсюдження як у військових, громадських, пошуково-рятувальних та інших сферах. Наземні мобільні роботи можуть бути колісного або гусеничного типу, для них характерні широкий діапазон швидкостей, різноманітність середовища використання та вплив профілю місцевості.

### **МЕТА РОБОТИ**

Оцінка впливу зовнішніх збурень зумовлених нерівностями профілю місцевості на систему стабілізації обладнання встановленого на мобільному роботі. Порівняння точності системи стабілізації при різній конфігурації системи керування.

### **КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОФІЛЮ ДОРІГ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ**

Для побудови системи стабілізації обладнання встановленого на мобільному роботі який здійснює рух по місцевості з різним профілем, потрібно встановити залежності між профілем місцевості та параметрами системи керування.

Рельєф визначає нерівності доріг або недосконалість поверхні руху. Для моделювання рельєфу його потрібно описувати як сукупність реалізацій випадкових поверхонь, які описують нерівність. Перетини рельєфу в напрямку руху об'єкта по площині і буде називатись профілем дороги. Сукупність

реалізацій профілю дороги дає можливість описувати профіль дороги як випадковий процес, а точніше як випадкову функцію висоти нерівностей дороги, яке вже буде мати залежність як від пройденого шляху так і від часу. Висота рельєфу – це випадкова величина з нормальним законом розподілу імовірності, як наслідок профіль дороги буде описуватись стаціонарним випадковим процесом з нормальним законом розподілення.

Стандарт ISO 8608 описує класифікацію доріг за рівнем нерівностей, що і береться за основу для моделювання впливу профілю дороги[2]. Випадкові нерівності доріг є функцією просторової частоти на основі спектральної щільності потужності  $S_0$ . Класи доріг класифікуються в залежності від рівня нерівності: А (дуже добра дорога, рівень нерівності -  $<8 \times 10^{-6}$ ); В (добра дорога, рівень нерівності –  $8 \times 10^{-6} - 32 \times 10^{-6}$ ); С (задовільна дорога, рівень нерівності –  $32 \times 10^{-6} - 128 \times 10^{-6}$ ); D (погана дорога, рівень нерівності -  $128 \times 10^{-6} - 512 \times 10^{-6}$ ); E (дуже погана дорога, рівень нерівності -  $512 \times 10^{-6} - 2048 \times 10^{-6}$ ); F (дуже складна для руху дорога, рівень нерівності -  $2048 \times 10^{-6} - 8192 \times 10^{-6}$ ).

### **СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ**

Існує багато різних методів вдосконалення систем стабілізації обладнання, такі як використання нейромережі, використання структурно-параметричного синтезу цифрової системи стабілізації на основі робастного керування, використання цифрових регуляторів, використання адаптивного квадратичного функціоналу керування та багато інших. Варіанти побудови систем стабілізації наведено і обґрунтовано у джерелах [3] та [4].

В даній роботі для аналізу ефективності системи стабілізації та моделювання збурень викликаних недосконалістю профілю дороги було розглянуто систему описану в статті [5]. До її складу входять перетворюючий та корегуючий пристрій, підсилювач, виконавчий двигун та редуктор. Така структура була розроблена для забезпечення необхідних показників точності, стійкості та якості перехідного процесу. В систему стабілізації обладнання було введено у контур керування ПІ-регулятор для підвищення точності відпрацювання.

В пакеті Matlab Simulink розроблено систему для моделювання в якій використовуються стандартні блоки – Constant, Gain, Integrator, Scope, Sum, Random Number, TranserFcn. В канал збурення подається випадкове збурення блоком From Workspace яке і є збуренням від нерівності профілю дороги. Система має нульовий вхідний сигнал, тому похибка системи – реакція системи на збурення або відхилення системи від нульового положення.

### **МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ**

Для проведення моделювання обрано клас дороги F – дуже погана дорога, з рівнем нерівності  $2000 \times 10^{-6}$ . Умови моделювання наступні: мобільний міні-робот рухається з постійною швидкістю 5 км/год (1,4 м/с) протягом 100с, відповідно пройдений шлях складає 140м. Період дискретизації – 0,05с. Згенеровано випадковий стаціонарний процес з обмеженим за частотою спектром до 10Гц. Крім значного рівня нерівності профілю дороги, в реалізації

було враховано два додаткові імпульсні збурення у вигляді прямокутних імпульсів з такими параметрами: величина 0,1м; тривалість 0,5с або 0,7м у пройденому шляху. Перший імпульс подається в часовому інтервалі 39,45с – 39,95с, а другий 77,65 – 78,15с [5].

За результатами проведеного моделювання (рис. 1) розраховано значення кута відхилення від площини горизонту та середньоквадратичні відхилення реалізацій вхідного випадкового збурення та вихідного сигналу системи.

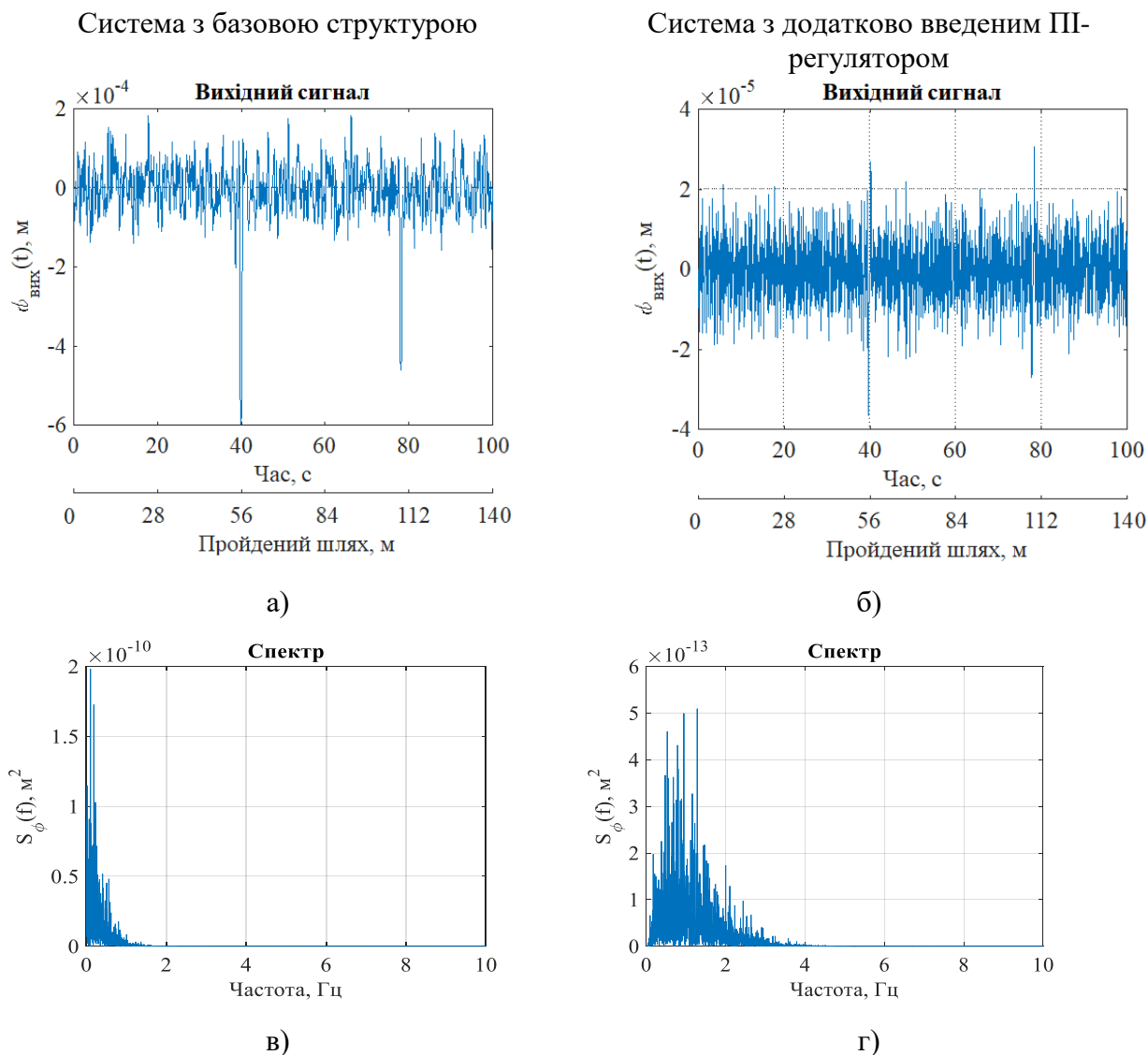


Рисунок 1. Результати моделювання системи стабілізації при випадкових збуреннях, обумовлених нерівностями дороги класу F: а) реакція системи з базовою структурою; б) реакція системи з ПІ-регулятором; в) спектр вихідного сигналу системи з базовою структурою; г) спектр вихідного сигналу системи з ПІ-регулятором

Середньоквадратичне відхилення вхідного випадкового збурення складало 0,2136. Для системи стабілізації з базовою структурою кут відхилення дорівнює 0,1366 град, з ПІ-регулятором кут відхилення став дорівнювати  $8,4 \times 10^{-3}$  град, середньо квадратичне відхилення вихідного сигналу без ПІ-регулятора дорівнює  $7,38 \times 10^{-5}$  м, з ПІ-регулятором -  $6,95 \times 10^{-6}$  м. Як видно з результатів моделювання

з введенням ПІ-регулятора похибка система стабілізації по куту відхилення зменшилась на 2 порядки [5].

## ВИСНОВКИ

Проблема ефективності системи стабілізації яка встановлюється на мобільні роботи класу «міні» сьогодні є актуальною. Існує багато способів вдосконалення систем стабілізації, у цій роботі показано ефективність використання ПІ-регулятора у конторі керування. Профіль дороги F за стандартом ISO 8608 класифікується як дуже погана та складна для руху дорога. Для систем стабілізації допустимою похибкою відпрацювання з аналізу джерел є 0,2 градуси. На прикладі руху по поганій дорозі класу F з системою з базовою конфігурацією отримана похибка перевищує допустиме значення для таких систем, з використання ПІ-регулятора цю проблему вдалось вирішити і навіть отримати точність відпрацювання на порядок вище ніж 0,02 градуси.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Бурау Н. І. Аналіз впливу нерівностей місцевості на ефективність стабілізації обладнання рухомого об'єкта. / Н. І. Бурау, А. І. Вознюк, А. В. Осовцев, А. С. Шаблій // *Вісник інженерної академії України*. 2017. №2. – С. 220 - 225.
- [2]Богомолов В. О. Моделювання дорожньої поверхні для розрахунку динаміки руху транспортних засобів. / В. О. Богомолов, В. І. Клименко, А. І. Шилов, Р. В. Алексеев // *Автомобільний транспорт*. 2011. Вип.29. – С. 37 - 42.
- [3]Кузавков В. В. Варіант структури автоматичної стабілізації платформи антенного поля рухомого об'єкту. / В. В. Кузавков, А. О. Зарубенко // *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2020. №3(39). — С. 23-32.
- [4]Sushchenko O. A. Features of modelling stabilization digital system of ground vehicle equipment. / O. A/ Sushchenko, A. A. Salyuk, S. H. Yehorov // *Electronics and Control Systems*. 2020. №3(65). — P. 62 – 71.
- [5]Бурау Н. І. Аналіз ефективності системи стабілізації обладнання мобільного міні-робота на місцевості зі складним профілем / Н. І. Бурау, А. В. Осовцев // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2023. №5(34). — P. 99 – 107.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Бурау Н.І.*

**УДК 629.05**

*С.В. Самойленко, ст. гр. ПГ-21мп, к.т.н., доц. Лакоза С.Л.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **МЕТОДИ ГРУБОЇ ВИСТАВКИ БІНС НА РУХОМІЙ ОСНОВІ**

**Анотація.** Дослідження безплатформених інерціальних навігаційних систем акцентують увагу на двох ключових аспектах: підвищенні точності систем та їх надійності. Підвищення точності БІНС не можливе без точної початкової виставки. Але для досягнення оптимальної ефективності таких систем важливо приділити належну увагу до процесу калібрування і виставки, який би був ефективним і не вимагав би використання дорогого прецизійного обладнання. У даній роботі розглянуті методи грубої виставки БІНС на рухомій основі. Описано та визначено переваги та недоліки ряду сучасних методів грубої виставки БІНС на рухомій основі.

**Ключові слова:** БІНС, ІНС, груба виставка, виставка на рухомій основі.

### **ВСТУП**

Задача початкової виставки безплатформених інерціальних навігаційних систем (БІНС) полягає у визначенні початкового положення об'єкта у обраних системах координат (СК). Зазвичай, процес початкової виставки складається з двох етапів — грубої і точної виставки.

Перед запуском основного робочого режиму БІНС необхідно знати інформацію про початкове положення, швидкість та орієнтацію об'єкта у навігаційній СК. Початкове положення та швидкість досить легко визначити, використовуючи зовнішні джерела, але початкову орієнтацію часто потрібно визначити автономно.

Основна ідея автономної початкової виставки БІНС полягає в обробці вимірювань акселерометрів і гіроскопів для оцінки параметрів, що визначають початкову орієнтацію об'єкта.

### **ОГЛЯД ГРУБОЇ ВИСТАВКИ БІНС. ОСНОВНІ МЕТОДИ ДЛЯ РУХОМОЇ ОСНОВИ**

Процес початкової виставки поділяється на грубу і точну виставки. Груба виставка БІНС включає визначення вертикалі (аналітичне горизонтування) та визначення азимута (аналітичне гірокомпасування). Для горизонтування використовуються вимірювання акселерометрів, а для гірокомпасування (ГК) – комплексну обробку вимірювань акселерометрів і гіроскопів.

Основний принцип грубої виставки полягає в визначенні початкових значень параметрів орієнтації, використовуючи вимірювання векторів сили тяжіння та кутової швидкості Землі. На нерухомій основі кутова швидкість, виміряна гіроскопом, є значенням власної швидкості обертання Землі, а значення прискорення визначається прискоренням сили земного тяжіння. Проте на рухомій основі зі значним коливальним рухом інформація про обертання Землі у сигналах гіроскопів може бути недоступною через низьке співвідношення сигнал-шум. При наявності значної хитавиці виміряне прискорення вже не буде відповідати значенню прискорення земного тяжіння. Тому базові аналітичні методи грубої виставки можна застосовувати лише для повністю стаціонарної основи [1].

Один з популярних підходів для початкової виставки в русі – це використання показів однієї з глобальних супутникових навігаційних систем

(GNSS), як наприклад, у статті [2], де розглянуто оптимальний непрямий метод грубої виставки БІНС в русі. Запропонований метод базується на задачі Вахби, у якій знаходять оптимальну матрицю обертання для перетворення набору векторів з однієї СК в іншу. Рішення задачі Вахби часто використовують для визначення положення за допомогою таких датчиків, як магнітометри та багатоантенні GPS-приймачі [3]. Задача Вахби є добре вивченою та має ряд переваг над іншими методами оцінювання орієнтації, наприклад, стійкість до шуму та здатність працювати з декількома векторами спостережень.

Запропонований у роботі [3] метод будує вектори спостереження, використовуючи вимірювання GNSS і вихідні дані БІНС. Вектори спостереження являють собою різницю між виміряною позицією в GNSS та її оцінкою в БІНС. Цей метод використовує алгоритм декомпозиції сингулярних значень (SVD) для розв'язку задачі Вахби. Запропонований метод має ряд переваг над традиційними методами грубої виставки в русі: він зменшує накопичення постійної похибки інерціальних пристроїв за рахунок скорочення часу набору спостережень; він краще адаптується до умов навколишнього середовища; він швидше збігається.

У статті [4] було розглянуто метод грубої виставки в русі на основі векторних спостережень. Цей метод передбачає збір та аналіз інформації про напрямок руху для визначення стану системи. У сфері навігації це означає збір даних з різних датчиків для формування векторного спостереження, що дає повне уявлення про рух системи. БІНС базуються на інерційних датчиках, тому вектор спостереження формується з вимірювання прискорення та кутових швидкостей. Цей комплексний вектор містить важливу інформацію про рух системи, створюючи основу для точної виставки.

Принципи грубої виставки за цим методом передбачають виконання корекції в реальному часі на основі векторного спостереження. Ця адаптивність гарантує, що система може динамічно реагувати на зміни в русі, забезпечуючи точність на протязі всього часу. У порівнянні з традиційними методами, які часто вимагають інформації про швидкість, підхід на основі векторного спостереження розширює область застосування грубої виставки під час руху без наявності повної інформації про швидкість.

У статті [5] запропоновано новий метод компасної виставки на основі методу зворотної навігації, який використовує збережені дані та повторні навігаційні обчислення для підвищення швидкості та точності виставки. Метод передбачає використання тих самих даних на різних етапах виставки, що допомагає скоротити час виставки і підвищити точність. Зазвичай навігаційні розрахунки виконуються в реальному часі без збереження даних, але за наявності достатнього обсягу пам'яті та обчислювальних потужностей дані можна зберігати для аналізу.

Процес компасної виставки в БІНС складається з двох етапів: горизонтальне нівелювання і виставка в азимуті. Горизонтальне нівелювання - це перший крок, під час якої БІНС виставляють у горизонті. Виставка в азимуті - це другий крок, на якому аналітичний компас виставляється в азимуті, використовуючи горизонтальне нівелювання. Це дозволяє виконати точну оцінку орієнтації БІНС.

У статті [6] описується метод швидкої компасної виставки для БНС на основі збережених даних і рішення для повторної навігації. У цьому методі збережені дані датчика і вихідний керуючий сигнал беруть участь у навігаційному рішенні для створення нової матриці положення і генерують нові прогнозовані дані датчиків. Ці дані використовують як вхідний сигнал контуру виставки, що видає новий вихідний керуючий сигнал після обчислення параметрів початкової орієнтації на попередньому кроці. При використанні високопродуктивного комп'ютера ітераційний процес може бути завершений за короткий час, а швидкість виставки значно збільшена.

У цьому методі спочатку виконується ітераційний процес для завершення виставки за скорочений час, а потім за допомогою RTOS використовується метод багатозадачності для відстеження зміни зв'язаної СК та оновлення матриці орієнтації після завершення виставки. Таким чином, результат виставки може бути отриманий практично у реальному часі. Основними труднощами цього методу є повторне використання збережених даних і забезпечення результатів виставки в реальному часі. Для вирішення першої проблеми розроблено два алгоритми повторної навігації. А для вирішення другої проблеми СК, зв'язана з об'єктом, може бути оновлена після завершення виставки, таким чином забезпечуючи можливість виставки в реальному часі.

У статті [7] описано метод швидкої високоточної компасної виставки для БНС з обертанням осі азимута. Це використовується для підвищення точності виставки та усунення значного впливу систематичної складової похибок гіроскопів як це проявляється у класичній компасній виставці БНС. Таким чином виконується модуляція азимута. Для того, щоб впоратися із проблемами підсиленням у низькочастотній зоні в контурі класичного компаса застосовуються два методи. Перший метод полягає у збільшенні частоти обертання, а другий у зміні параметрів компасного контуру. Результати моделювання показують, що точність виставки значно підвищується за допомогою двох вищезгаданих методів; однак, виявляється, що час виставки занадто довгий, щоб бути прийнятним. Для можливості його використання потрібно використовувати високопродуктивний навігаційний комп'ютер.

## **ВИСНОВОК**

У даній роботі було розглянуто різні методи грубої виставки БНС під час руху. Виконано опис роботи цих методів та принципів, на яких вони ґрунтуються.

Груба виставка під час руху на основі векторних спостережень для БНС є значним кроком для виставки на рухомій основі. Використовуючи векторні спостереження цей підхід гарантує постійну точність та адаптивність в динамічних середовищах. Зменшена залежність від інформації про швидкість робить його універсальним рішенням для різноманітних застосувань, від автономних транспортних засобів до авіанавігації.

Метод компасної виставки на основі методів зворотної навігації може значно покращити ефективність і точність БНС за рахунок використання збережених даних та оптимізованих алгоритмів виставки. У процесі компасної

виставки значна початкова похибка азимута може спричинити великі коливання під час ітераційних обчислень, але точність виставки залежить від збіжності коливань пізнішого періоду. Використовуючи алгоритм зворотної навігації, ту саму послідовність вибірки даних можна використовувати як на ранніх, так і на пізніх етапах виставки аналітичного компаса в азимуті, зменшуючи початкову похибку азимута і покращуючи швидкість та точність виставки. Основні переваги методу - швидкість виставки та здатність працювати в реальному часі, що роблять його перспективним у сфері інерціальної навігації.

Також розглянуто удосконалений швидкий метод компасної виставки для БІНС, що базується на збережених даних та алгоритмах повторної навігації. У цьому методі використовується модуляція азимута, яка застосовується для підвищення точності виставки аналітичного компаса в БІНС. Для цього використовують два підходи - збільшення частоти обертання та зміни параметрів контуру. Це значно покращує точність початкової виставки. Однак час виставки є занадто довгим для БІНС. Значно скоротити час дозволяє швидкий метод обчислення з повторним використанням навігаційних даних, забезпечуючи при цьому високу точність виставки компаса майже в реальному часі.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Wang, H., Li, G., Shi, Z. (2017). Overview of Initial Alignment Method for Strap down Inertial Navigation System. Atlantis Press Advances in Engineering Research, 114, 149-145. DOI: 10.2991/AMMEE-17.2017.30
- [2] Liu, W., Cheng, X., Ding, P., Peng, P. (2022). An Optimal Indirect In-Motion Coarse Alignment Method for GNSS-Aided SINS. IEEE Sensors Journal, 22(8), 7608-7618. DOI: 10.1109/JSEN.2022.3153093
- [3] Wahba, G. (1965). Problem 65-1: A Least Squares Estimate of Satellite Attitude. SIAM Review, 7(3), 409–409. <http://www.jstor.org/stable/2027852>
- [4] Zhang, T., Zhu, Y., Xu, X., Wang, J., Li, Y. (2018). In-Motion Coarse Alignment Based on the Vector Observation for SINS. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 68(10), 3740-3750. DOI: 10.1109/TIM.2018.2881021
- [5] Sun, J., Zhang, D., Shi, X., Ding, F. (2020). Fast Compass Alignment for Strapdown Inertial Navigation System. Computers, Materials & Continua, 65(2), 1349-1360. DOI: 10.32604/CMC.2020.011459
- [6] Liu, X., Xu, X., Wang, L., Liu, Y. (2013). A fast compass alignment method for SINS based on saved data and repeated navigation solution. Elsevier Measurement, 46(10), 3836-3846. DOI: 10.1016/J.MEASUREMENT.2013.07.013
- [7] Liu, X., Xu, X., Liu, Y., Wang, L. (2013). A Fast and High-Accuracy Compass Alignment Method to SINS with Azimuth Axis Rotation. Hindawi Mathematical Problems in Engineering, Article ID 524284, 1-12. DOI: 10.1155/2013/524284

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Лакоза С.Л.*



**УДК 681.2**

*І.В. Томчак, студент гр. ПГ-21мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **КОМПЕНСАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ ГІРОСКОПІВ ШТУЧНОЮ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ**

**Анотація.** Компенсація температурних дрейфів вібраційних гіроскопів є важливою темою дослідження, оскільки від цього залежить точність його роботи. Зміщення нульового сигналу гіроскопа від температури має нелінійну залежність, саме тому потрібно враховувати температурну похибку. В даній роботі розглянуто використання ШНМ для компенсації температурного дрейфу.

**Ключові слова:** Штучна нейронна мережа (ШНМ); температурні дрейфи; вібраційний гіроскоп.

### **ВСТУП**

У даній статті досліджується моделювання температурного дрейфу гіроскопа та методи компенсації, запропоновані в існуючій літературі.

При використанні вихідних сигналів датчика кутової швидкості, залежності параметрів від температури апроксимуються простими функціями. Точність компенсації температурних дрейфів безпосередньо залежить від точності апроксимації. Оскільки кожен з класичних методів має свої переваги та недоліки, зумовлені, насамперед, строгістю методів та наперед заданим виглядом функції, то врахувати реальні властивості заданої системи при незначних змінах важко. Сучасні засоби апроксимації, а, саме, штучні нейронні мережі дозволяють побудувати регресійну модель більш точно, яка буде нечутлива до випадкових відхилень.

### **ШТУЧНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ**

Штучна нейронна мережа (ШНМ) – це система, що складається з багатьох паралельно працюючих простих обчислювальних елементів, функціональність яких визначається властивостями мережі [1]. ШНМ вирішує задачі, які зводяться до апроксимації функцій.

Пропонується використовувати алгоритм на основі ШНМ для компенсації температурного дрейфу гіроскопа

У цій роботі ми розглядаємо два типи ШНМ прямого поширення сигналу, зворотне поширення помилки (ZPP) і радіально-базисну функцію (RBF), які найкраще підходять для апроксимації даних.

З назви мережі можна зрозуміти, що існує певний напрямок поширення сигналу в мережі через один або кілька прихованих шарів до вихідного рівня.

### **ШТУЧНА НЕЙРОННА МЕРЕЖА ЗІ ЗВОРОТНІМ ПОШИРЕННЯМ ПОМИЛКИ**

Це ітераційний градієнтний алгоритм, який використовується для мінімізації помилок операцій багаторівневого персептрона та отримання бажаного результату. Суть цього методу полягає в тому, що напрямок, в якому поширюється сигнал помилки від виходу до входу мережі, протилежний напрямку, в якому сигнал поширюється безпосередньо під час нормальної роботи.

ШНМ із зворотнім поширенням помилок складається з трьох нейронних

рівнів: вхідного, прихованого та вихідного. Вибераємо необхідну кількість нейронів у прихованому шарі відповідно до рекомендацій [[1]-[3]]. Експериментально підібрано функцію активації та параметри навчання штучної нейронної мережі.

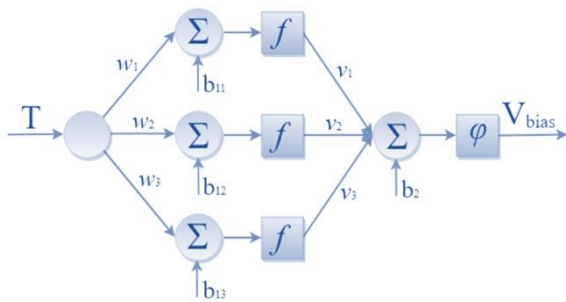


Рисунок 1. Архітектура штучної нейронної мережі.

де:  $T$  – поточна температура термодатчика;  $V_{bias}$  – розраховане зміщення нульового сигналу;  $w_i$  – синаптична вага  $i$ -го нейрона;  $v_i$  – синаптична вага вихідного нейрона;  $b_i$  – нейрон зміщення;  $f_1$  – логістична передавальна функція;  $f, f_2$  – лінійні передавальні функції;  $\varphi$  – радіальна базисна функція

При реалізації роботи такої ШНМ можна виразити наступним чином:

$$V_{bias} = \varphi\left(\sum_{k=1}^3 f(w_k \cdot T + b_{1k}) + b_2\right) = \sum_{k=1}^3 \frac{1}{1 + e^{-(w_k \cdot T + b_{1k})}} + b_2 \quad (1)$$

Після того, як ШНМ розроблена, її потрібно навчити, і синаптичні ваги нейронів визначаються в процесі навчання. Комбінація «температурного зміщення нуля» і «температурного масштабного коефіцієнта», отримана в результаті калібрування температури, використовується для навчання ШНМ.

## ШТУЧНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ З РАДІАЛЬНИМИ БАЗИСНИМИ ФУНКЦІЯМИ

Штучні нейронні мережі з радіальними базисними функціями (RBF) є окремим випадком двошарових ШНМ прямого поширення, у яких приховані шари нейронів використовують радіальні базисні функції [1]. Функції Гауса часто використовуються як радіальні функції та можуть бути визначені як: [4]:

$$\varphi(x) = \varphi(\|x - c_i\|) = \exp\left[-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right] \quad (2)$$

де:  $\sigma_i$  – параметр, від якого залежить ширина розмаху функції.

Найпростіша нейронна мережа радіальної базисної функції складається з трьох шарів [[4]]: вхідний шар, що виконує розподіл вибіркового даних для першого шару ваг; шар прихованих нейронів з радіально-симетричною передавальною функцією, кожен шар створюється для зберігання окремого еталонного вектора у вигляді вектора ваг, вихідний шар.

Завдання апроксимації мережами РБФ полягає у виборі відповідної кількості радіальних функцій та їхніх властивостей, щоб розв’язок рівняння (2) був достатньо точним [4].

Вибір параметрів радіальної функції та значень ваги мережі можна представити наступним чином:

$$E = \sum_{i=1}^p \left[ \sum_{j=1}^n w_j \cdot \varphi(\|x - c_i\| \cdot b_j) - t_i \right]^2 \quad (3)$$

де:  $n$  – кількість радіальних нейронів;  $p$  – кількість навчальних пар  $(x, t)$ , де  $x$  – це вхідний вектор, а  $t$  – відповідна йому очікувана величина.

Етап навчання РБФ-мереж складається з двох стадій: процес налаштування центрів базисних функцій і навчання нейронів в прихованому шарі [1].

Діаграма мережі РБФ для температурної компенсації зсуву нульової точки.

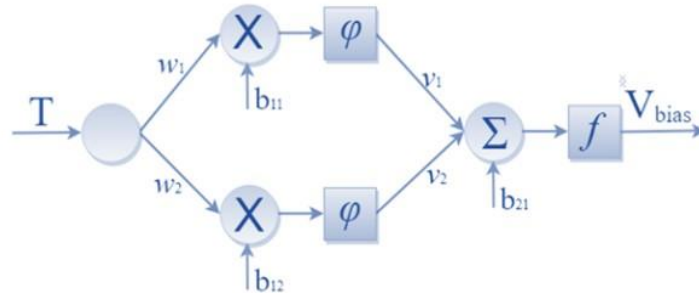


Рисунок 2. Діаграма мережі радіальних базисних функцій.

## АЛГОРИТМ, ЯКИЙ ПОЄДНУЄ КАЛІБРУВАННЯ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ГІРОСКОПА ТА КОМПЕНСАЦІЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФУ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

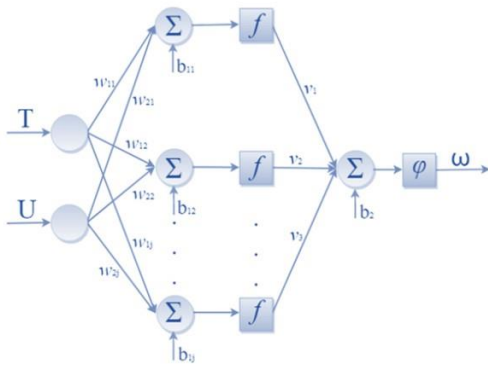
Недоліком вищезазначеного методу температурної компенсації є те, що він вимагає використання певного полінома або ШНМ для температурної компенсації параметрів гіроскопа. Рішення цієї проблеми полягає у використанні алгоритму, який використовує ШНМ поширення помилок для спрощення обробки вихідного сигналу гіроскопа. Важливим аспектом багатовхідних нейронних мереж є нормалізація вхідних даних. Через різні фізичні властивості ШНМ необхідно виконати нормалізацію вибірок даних. Нормалізація гарантує, що всі значення використовуваних змінних потрапляють в один і той же діапазон варіації і можуть бути об'єднані в модель ШНМ [6].

Використаємо лінійну нормалізацію, суть якої в лінійному перетворенні набору значень з одного діапазону в інший  $x \in [\min(x), \max(x)] \Rightarrow \tau(x) \in [A, B]$ . Зведемо вихідний сигнал та сигнал його датчика температури до діапазону  $(-1, 1)$ :

$$\begin{aligned} \tilde{U}_{ik} &= 2 \cdot \frac{U_{ik} - U_{\min i}}{U_{\max i} - U_{\min i}} - 1 \\ \tilde{T}_{ik} &= 2 \cdot \frac{T_{ik} - T_{\min i}}{T_{\max i} - T_{\min i}} - 1 \end{aligned} \quad (4)$$

де:  $U_{ik}, T_{ik}$  –  $i$ -те вхідне значення  $k$ -го прикладу вихідної вибірки в класичних одиницях виміру.

Функції активації нейронів прихованого шару – функція гіперболічного тангенсу з областю значень в  $(-1, 1)$ :



$$f(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (5)$$

Рисунок 3. Архітектура штучної нейронної мережі, яка об'єднує процес перетворення вихідного сигналу та компенсацію температурних похибок.

### ВИСНОВОК

У статті розглянуто методи алгоритмічної компенсації температурних похибок гіроскопа, які базуються на класичних методах апроксимації функції, встановлено їх переваги і недоліки.

Проаналізовано можливість застосування штучних нейронних мереж для вирішення задачі

температурної компенсації параметрів гіроскопів.

Обрано моделі штучних нейронних мереж двох типів для нашої задачі, а саме, багат шарова мережа зі зворотним поширенням помилки та двошарова радіальних базисних функцій.

Після аналізу недоліків з використанням таких моделей обрано вдосконалену модель ШНМ, яка об'єднує процес перетворення вихідного сигналу та компенсацію температурних похибок.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Тимошук П.В. Штучні нейронні мережі: [навч. посіб.] / П.В.Тимошук. - Львів:Видавництво Львівської Політехніки, 2011. – 444 с
- [2] М.А. Новотарський, Б.Б. Нестеренко. Штучні нейронні мережі: обчислення // Праці Інституту математики НАН України. – Т50. – Київ: Ін-т математики НАН України, 2004. – 408 с
- [3] Rita Fontanella, Domenico Accardo, Rosario Schiano Lo Moriello, Leopoldo Angrisani, Domenico De Simone, “MEMS Gyros Temperature Calibration through Artificial Neural Networks”, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 279, pp. 553-565, 15 August 2018.
- [4] Шелевер В. М. Алгоритмічна компенсація дрейфів мікромеханічних гіроскопів : дис. – Київ, 2018.
- [5] Golrokh Araghi, René Jr Landry, “Temperature compensation model of MEMS inertial sensors based on neural network”, 2018 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), pp. 301-309, 2018.
- [6] Кононюк А. Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми. – 2008

*Наук.керівник – к.т.н., доц. Мураховський С.А*

УДК 681.52

А.Ф. Хмирова, студентка гр. ПГ-21мп, к.т.н., доц. Лакоза С.Л.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СУЧАСНІ ЗАКОНИ КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТОМ КВАДРОКОПТЕРА

**Анотація.** У зв'язку з стрімким розвитком сфери авіації, проектування систем керування польотом безпілотних літальних апаратів (БПЛА) набуває все більшого значення. В основному алгоритми керування використовуються для керування положенням і швидкістю БПЛА. Завдяки своїй універсальності та компактності коптери стали найпопулярнішими БПЛА в останні десятиліття. Таким чином, для стабілізації та підвищення продуктивності необхідно ефективне керування. У цій статті представлено огляд найпопулярніших регуляторів для контурів керування орієнтацією та положенням квадрокоптерів.

**Ключові слова:** квадрокоптер, керування, ПД, LQR, MPC, SMC.

### ВСТУП

Квадрокоптери стали важливою частиною сучасного життя, вони оснащені чотирма гвинтами і можуть виконувати різні завдання у повітрі. Зйомка фото та відео з висоти є однією з найпоширеніших функцій коптерів. Деякі компанії використовують дрони для доставки товарів, моніторингу сільськогосподарських культур, для рятувальних операцій у надзвичайних ситуаціях, для дослідження недоступних або небезпечних місць, а також для виконання широкого спектру військових завдань, включаючи розвідку, артилерійське наведення та завдання ударів. Використання квадрокоптерів у всіх сферах життя стає все більше поширеним, що дає поштовх для детального дослідження та покращення ефективності роботи цих пристроїв.

Щоб квадрокоптер мав автономний політ, система керування повинна мати відмінні характеристики контурів стабілізації (внутрішній контур) і контурів управління горизонтальним положенням та висотою (зовнішній контур). Крім того, при дослідженні системи керування коптером необхідно враховувати такі задачі, як складні нелінійні динамічні рівняння руху, характеристики динамічної системи, пов'язаних підсистем, динамічні невизначеності, зовнішні збурення та зв'язані підсистеми.

## ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ ЗАКОН РЕГУЛЮВАННЯ

PID-регулятор — це традиційна схема керування, яка використовується для багатьох електричних і механічних систем. Завдяки своїй простоті, легкості реалізації та високій продуктивності при відносно



Рис. 1. Блок-схема керованого процесу зі зворотним зв'язком [1].

невеликих зусиллях керування, це найпоширеніший метод керування. PID-регулятори є основою багатьох популярних систем керування квадрокоптерів. Алгоритм PID-регулятора використовує два основні входи. Одним із них є зворотний зв'язок від загальної реакції системи, а іншим є бажане або задане значення. Після цього ці вхідні дані використовуються для обчислення похибки

керування системи. На рис. 1 зображена схема системи керування зі зворотним зв'язком. На моделі виконавчих механізмів квадрокоптера (двигуни, які надають пропелерам кутову швидкість, необхідну для переміщення квадрокоптера) подається керуючий з вихід алгоритму керування [1].

Як показано у формулі (1), загальний сигнал ПІД-регулятор складається з трьох елементів:

$$u(t) = P(t) + I(t) + D(t), \text{ де} \quad (1)$$

$P(t)$  є пропорційним (P) членом,  $I(t)$  є інтегральним (I) членом, а  $D(t)$  є диференціальним (D) членом. Система керування, яка складається лише з P, не може досягти статичного стаціонарного стану без коливань, щоб підвищити якість роботи всього регулятора і усунути більшу частину коливань в усталеному режимі вводяться члени I і D на додачу до члена P [1].

У роботі [1] досліджується поведінка квадрокоптера, при використанні різних типів регуляторів: пропорційного (П), пропорційно-диференціального (ПД) та пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД), які налаштовуються за допомогою алгоритму PSO (Particle Swarm Optimization). Дослідження показало, що ПІД-регулятор дає кращі результати, з точки зору часу налаштування та стабільності, порівняно з результатами отриманими за допомогою П- та ПД-регуляторів.

## ЛІНІЙНИЙ КВАДРАТИЧНИЙ РЕГУЛЯТОР

Лінійний квадратичний регулятор (LQR) — це сучасний метод керування, який використовує представлення системи у просторі станів для її аналізу та проектування. У роботі [2] було розроблено модель квадрокоптера у просторі станів, яку використали для проектування ефективного регулятора LQR. Рівняння стану мають наступну форму [2]:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (2)$$

де  $x$  - вектор стану,  $y$  - вектор виходу,  $u$  - вектор входу/керування.  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  - матриці стану, входу, виходу та прямого зв'язку відповідно.

У цьому методі вихід системи (рис.2) має зворотний зв'язок через коефіцієнт підсилення регулятора  $K$ , призначений для стабілізації системи в замкненому стані.

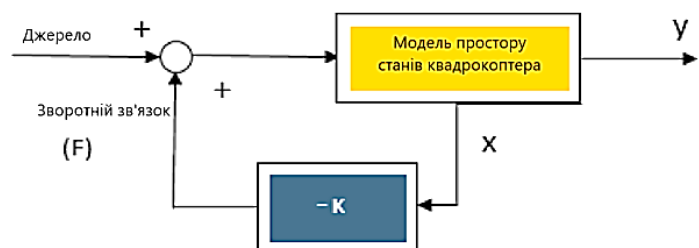


Рис.2. Система керування квадрокоптером із замкнутим контуром

Модель простору станів записується згідно поданню у формі (2), а зворотний зв'язок (F) синтезується згідно закону оптимального керування, який виражається формулою (3):

$$F = -Kx \quad (3)$$

Розроблений у роботі [2] регулятор був досліджений за різних умов, визначаючи вплив вагових матриць  $Q$  і  $R$  на матричний коефіцієнт зворотного зв'язку  $K$ . Виявлено, що менші значення  $K$  призводять до швидшої реакції

регулятора, але виникають ускладнення з високим рівнем перерегулювання та часом загасання коливаль. Також підкреслено, що стійкість регулятора залежить від правильних параметрів налаштування матриці підсилення  $K$ .

### **НЕЛІНІЙНЕ МОДЕЛЬНО-ПЕРЕДБАЧУВАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ**

Моделно-передбачувальне керування (MPC) є одним з найпоширеніших методів керування для промислових застосувань. Регулятор, створений з використанням цього методу, має ряд переваг, включаючи можливість обробляти нелінійні обмеження моделі і збурення, прогнозування станів, одночасне виконання з багатьма змінними, має простий алгоритм налаштування. MPC - це нелінійна схема керування, яка прогнозує майбутні стани системи. Цей метод мінімізує цільову функцію, працюючи з обмеженнями вхідних і вихідних даних [3].

Для того, щоб зрозуміти принцип роботи MPC необхідно розглянути схему на рис. 3. Під час роботи MPC знайомиться з історією минулих сигналів на входах та виходах системи, а також отримує прогнозовані значення майбутніх вхідних сигналів для того, щоб генерувати прогнозовані виходи для кожного часового періоду. Потім прогнозована поведінка порівнюється з бажаною траєкторією, щоб оцінити похибки керування. Алгоритм оптимізації отримує похибки і мінімізує часові чи енергетичні витрати за допомогою функції витрат. У результаті, наступні етапи цього методу допомагають генерувати прогнозовані майбутні сигнали на входах, які надаються в якості зворотного зв'язку для наступного циклу керування[3].

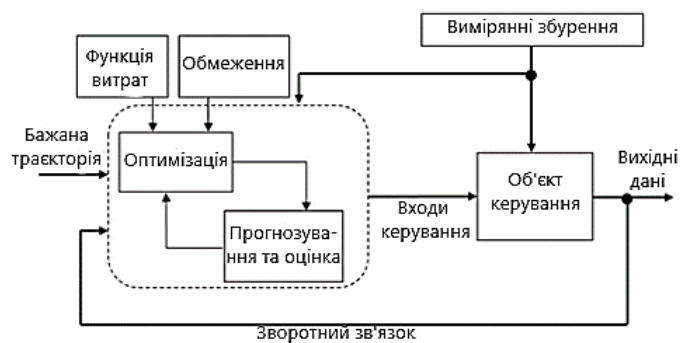


Рис.3. Схема роботи MPC [3]

У роботі [3] авторами було представлено MPC-керування для відстеження бажаного стану системи з урахуванням зовнішніх збурень для досягнення надійної роботи квадрокоптера. Ця робота демонструє успішну розробку MPC-регулятора з використанням кватерніонів для оцінки орієнтації квадрокоптера. Більше того, в цьому дослідженні квадрокоптер успішно відстежує траєкторії, уникаючи збурень, із задовільною похибкою стеження завдяки підтримці обмеженого рівня сигналів на входах керування. Звісно, квадрокоптер не може уникнути збурень, які існують в системі і не враховуються в регуляторі, а тому у реальній системі виникає затримка під час відстеження.

### **КОВЗНИЙ РЕЖИМ УПРАВЛІННЯ**

Ковзний режим керування (SMC) є простим та надійним методом, який дозволяє розробляти регулятори для лінійних і нелінійних процесів. SMC складається з двох частин: перша - преривчатий закон керування, що примусово переміщує вектор похибки до простору правил прийняття рішень, який називається поверхнею ковзання, на якій під час фази досягнення керування

перемикається на різних її сторонах згідно рівнянь. Друга частина - еквівалентна частина регулятора, після того, як вектор похибки обмежується поверхнею ковзання, ця частина регулятора діє, щоб слідувати бажаній динаміці згідно моделі, яка описує поверхню ковзання. Схема роботи SMC представлена на рис. 4 [4].

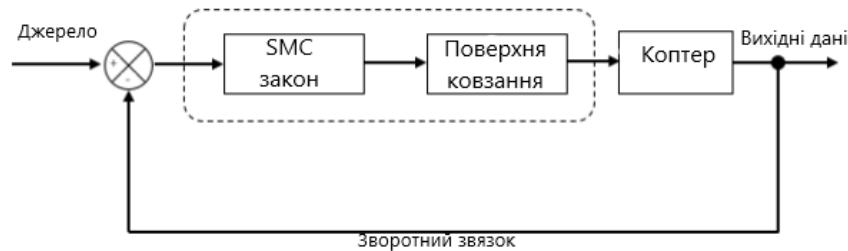


Рис.4. Схема роботи SMC

Стаття [4] демонструє керування квадрокоптером за допомогою SMC з поверхнею ковзання PD. У ній розроблено та протестовано SMC на основі поверхні ковзання PD та проведено імітаційне моделювання. Результати тестування показують хороші показники слідування та регулювання. Представлений регулятор легко реалізувати на основі PD-регулятора, який використовується як поверхня ковзання.

## ВИСНОВОК

Завдяки своїй універсальності та гнучкості квадрокоптери стали поширеними у різних сферах. Для якісної роботи систем квадрокоптера необхідні ефективні та надійні механізми керування. У цій статті було розглянуто основні сучасні підходи до керування коптерами — ПІД-регулятор, лінійно-квадратичний регулятор, модельно-передбачувальне керування та метод ковзаючого режиму керування. Розглянуті алгоритми та методи керування мають свої переваги та недоліки, відповідні обмеження, а тому вибір правильного регулятора залежить від завдань, які виконує квадрокоптер та його продуктивності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] T. Ustunkok, M. Karakaya, Effect of PSO Tuned P, PD, and PID Controllers on the Stability of a Quadrotor. In 2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK). 2019, p.1–6.
- [2] E. Okyere, A. Bousbaine, G. T. Poyi, A. K. Joseph, J. M. Andrade. Lqr controller design for quad-rotor helicopters. The Journal of Engineering. 2019, Vol. 2019(17), p. 4003–4007.
- [3] M. Islam, M. Okasha, E. Sulaeman. A Model Predictive Control (MPC) Approach on Unit Quaternion Orientation Based Quadrotor for Trajectory Tracking. International Journal of Control, Automation and Systems. 2019, V. 17(11), p. 1-6.
- [4] M. Herrera, W. Chamorro, A. P. Gomez, O. Camacho. Sliding mode control: An approach to control a quadrotor. Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering. 2015, p. 314–319.



## **Секція 2.**

# **Економіка виробництва і використання оптичних та оптико-електронних приладів і систем**

УДК 681.7

*В.Є.Батій, студент гр. ПГ-21, д.т.н., проф. Боровицький В.М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АНАЛІЗ ТИПІВ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ДИСПЛЕЇВ ДЛЯ РОЗУМНИХ ОКУЛЯРІВ**

*Анотація.* В даній статті було розглянуто типи оптичних систем окулярів доповненої та змішаної реальності. Розглянуто переваги і недоліки. Обґрунтовано вибір конкретної оптичної системи дисплею окулярів доповненої реальності в порівнянні із іншими для застосування у військовій сфері

**Ключові слова:** оптичні системи, AR, MR, дисплей

### **ВСТУП**

Розумні окуляри - сучасна галузь розвитку технологій “розумного одягу”, які призначені для розширення можливостей взаємодії людини із оточуючим світом, інтеграції цифрових пристроїв у цю взаємодію. До таких пристроїв прийнято відносити окуляри Віртуальної реальності (VR), Доповненої реальності (AR) та Змішаної реальності (MR).

З моменту появи перших розумних окулярів, доступних широкому загалу, окулярів від Google пройшло вже понад 10 років, і з кожним роком, галузь цих пристроїв зростає, стає краще і доступнішою для всіх. На сьогоднішній день, існує велике різноманіття рішень для покриття великого спектру потреб: як звичайних мультимедійних гаджетів - для розваг, або навіть здатних частково замінити комп'ютери чи смартфони, а також спеціалізованих систем розроблених для виконання задач у вузькій сфері, як, наприклад, військовій.

Основним компонентом в Розумних Окулярах є оптична система дисплею. Роздивлюючись перспективи для використання окулярів військовими, треба враховувати специфіку їх користувацького сценарію: користувачі потребуватимуть постійного безперервного користування системою впродовж тривалого часу таким чином, щоб сприйняття оточуючого світу і “доповненої” інформації з дисплею відбувалось паралельно водночас. Ці критерії варто врахувати при проектуванні власних окулярів і підборі оптичної системи дисплею для них.

### **ОГЛЯД ОПТИЧНИХ СИСТЕМ**

HMD (англ. head-mounted display) - наголовний голографічний дисплей що кріпиться перед очима користувача, в якому пучок променів випромінюється з проектору, заломлюючись на прозорому голографічному склі, на якому формується остаточне зображення доповненої цифрової інформації. Найвідомішим прикладом застосуванням такого типу дисплеїв є шоломи з HMD які використовують пілоти цивільної та військової авіації.

Пропоную розглянути на прикладі найвідомішого на сьогоднішній день комерційного і доступного масовому користувачу пристрою Розумних окулярів в яких використовується оптична система типу HMD, окулярів Goggle Glass (рис. 1).

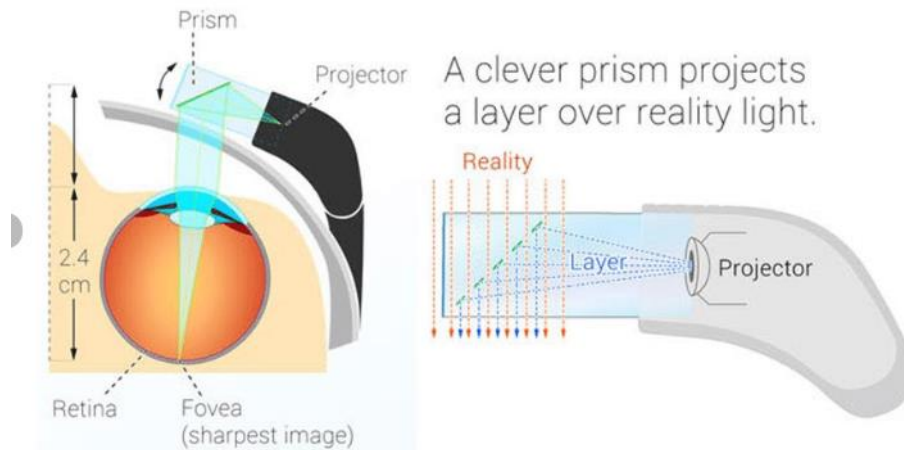


Рисунок 1. Принцип дії дисплеїв HMD у окулярах Google Glass[1]

Нажаль, оптична система яка використана в окулярах Google Glass, має ряд недоліків які є несумісними із вимогами до військових розумних окулярів, згаданими вище. Так, одним із головних недоліків окулярів є те, що вони мають монокулярну конструкцію, через що їх використання викликає бінокулярну конкуренцію у носія - тобто, створюється конфлікт між реальним світом та віртуальним світом, між якими користувачу доводиться переключати увагу, нездатний сфокусуватись водночас на обох[2].

Позбутись цих недоліків можна лише в разі, якщо збільшити площину проєкції дисплеї і посунути- навіть зовсім трохи, її далі від ока, як зробили Microsoft у своїх окулярах HoloLens 2, але, в такому разі, при вирішенні проблем, збільшиться масо-габаритна характеристика пристрою, що вплине на портативності розроблюваного аналогу. Саме тому, подібна система не підходить як вибір для використання в поставлених умовах використання військовими.

Mixed Reality display (англ. Змішана Реальність) - на сьогоднішній день, серед відомих і гучних рішень, також можна виокремити Оптичні системи MR, суть якої полягає в тому, що на цифровому дисплеї відображується не лише "доповнена" інформація, а також і зображення оточуючого середовища, яке отримують за допомогою зовнішніх камер на пристрої, далі оцифроване зображення накладають із доповненої інформацією- і відображають одним суцільним цифровим зображенням на дисплеях. Найновішим і найтехнологічнішим рішенням на ринку сьогодні є Розумні окуляри Meta Quest 3, які здатні працювати в режимі MR.

В силу свіжості окулярів, які побачили світ лише декілька місяців тому, ще відсутня достатня згадуваність у наукових джерелах. Але провівши дослідження соціальних мереж і магазинів, на предмет відгуків користувачів, можна знайти закономірність, а саме недоліки: певні користувачі посилаються на низьку якість зображення що отримана з зовнішніх камер шолому, низьку деталізацію, викривлення по краях рухомих об'єктів у режимі Доповненої Реальності [3]. Це можна було б вважати простими дефектами і не зважати увагу, якби не офіційна відповідь інженерної команди Meta[4] в одному із таких обговорень, в якій зазначається що низька деталізація, в тому числі спровокована

фактором низької, не ідеальної, освітленості в приміщенні використання.

Отже, система виглядає перспективною, але покращити її можна в основному за рахунок покращення, заміни дисплеїв, камер на ті, що матимуть більшу роздільну здатність, а отже підвищать собівартість пристрою і знизять його автономність.

Нажаль, за сукупність факторів, дана оптична система також не виглядає підходящою для застосування у військових розумних окулярах, до яких висунуто вимоги до ціни, масо-габаритних параметрів пристрою і автономності.

## ВИСНОВОК

Як можна побачити, HMD та MR дисплеї мають проблеми, які можуть заважати їх використанню у військовій сфері- унеможливити використання, або зробити так, що використання таких систем буде недоцільним з економічних міркувань або міркувань безпеки. Ці системи можуть бути непридатними для довготривалого використання та ситуацій, де вкрай важлива точність і ясність того, що бачить і відчуває користувач.

Саме тому, при постановці задачі з розробки розумних окулярів військового спрямування, потрібно звернути увагу на інші, менш відомі, перспективні типи оптичних систем. Одним із таких я вважаю Retinal Image Display (RID) - це технологія, яка використовує лазерне випромінювання для проектування зображення безпосередньо на сітківку ока [5] (рис. 2). Це дозволяє створювати високоякісні зображення з високою роздільною здатністю, гіпотетично, позбавлені тих недоліків які мають вище розглянуті оптичні системи.

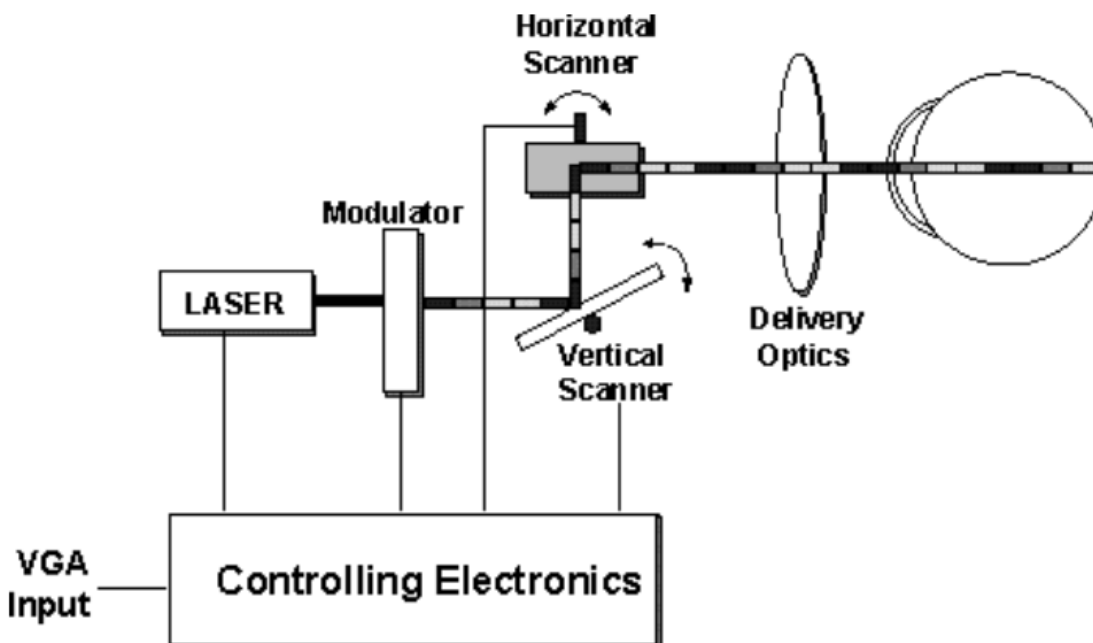


Рисунок 2. Принципова схема проекційних дисплеїв RID[6]

Використання такої системи могло б цілком задовільнити потреби військових, яким необхідно весь час тримати в фокусі зону бойових дій, звертати увагу навіть на дрібниці в периферійному зорі, бачити рухомі об'єкти без викривлень і мати доступ до якісного зображення вне залежності від освітлення,

яке в реальних задачах ніколи не буде студійним.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] File: Evaluation of Google Glass Technical Limitations on Their Integration in Medical Systems - Scientific Figure on ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Physical-schematic-of-Google-Glass-Source-Google-Glass-Inc\\_fig1\\_311679936](https://www.researchgate.net/figure/Physical-schematic-of-Google-Glass-Source-Google-Glass-Inc_fig1_311679936) (date of access: 13.12.2023).
- [2] Staplin L. Human factors aspects of using head up displays in automobiles: a review of the literature. Home - Transport Research International Documentation - TRID. URL: <https://trid.trb.org/view/1167034> (date of access: 08.12.2023).
- [3] Quest 3 Passthrough quality?. Reddit. URL: [http://www.reddit.com/r/OculusQuest/comments/16n5faq/quest\\_3\\_passthrough\\_quality/](http://www.reddit.com/r/OculusQuest/comments/16n5faq/quest_3_passthrough_quality/).
- [4] Is it normal to have my quest 3 passthrough going like this?. Home - Meta Community Forums. URL: <https://communityforums.atmeta.com/t5/Talk-VR/Is-it-normal-to-have-my-quest-3-passthrough-going-like-this/td-p/1090374> (date of access: 08.12.2023).
- [5] Retinal projection head-mounted display - Frontiers of Optoelectronics. SpringerLink. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12200-016-0662-8> (date of access: 08.12.2023).
- [6] File:Virtual Retinal Display Diagram.svg - Wikimedia Commons. Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Virtual\\_Retinal\\_Display\\_Diagram.svg#/media/File:Virtual\\_Retinal\\_Display\\_Diagram.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Virtual_Retinal_Display_Diagram.svg#/media/File:Virtual_Retinal_Display_Diagram.svg) (date of access: 13.12.2023).
- [7] Interaction Methods for Smart Glasses: A Survey. IEEE Xplore. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8368051> (date of access: 08.12.2023).
- [0]

*Наук. керівник - проф., д.т.н. Боровицький В.М.*

## УДК 681.7

О.І. Главацький, студент гр. ПГ-21мп, д.т.н., професор Микитенко В.І.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ЗАЛЕЖНІСТЬ ЧУТЛИВОСТІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ВІД ЗМІНИ ЇЇ ПАРАМЕТРІВ

**Анотація.** Стаття присвячена вивченню залежності чутливості оптико-електронної системи (ОЕС) спостереження від зміни її параметрів. Дослідження включає аналіз впливу параметрів оптичної системи на її спроможність ефективного сприймання та обробки зображень.

**Ключові слова:** оптико-електронна система, фокусна відстань, апертурна діафрагма, матричний приймач випромінювання.

#### ВСТУП

В сучасному світі розробка та удосконалення оптико-електронних систем стає визначальним напрямком досліджень. Здатність систем спостереження ефективно реагувати на зміни у внутрішньому та зовнішньому середовищі є критичною для їхнього успішного функціонування в різноманітних умовах.

Стаття досліджує один із ключових аспектів оптимізації оптико-електронних систем — залежність чутливості від зміни параметрів. Робота фокусується на впливі таких важливих факторів, як роздільна здатність, контрастність, світлочутливість та час реакції, на ефективність систем спостереження. Мета даного дослідження — визначити вплив вхідних параметрів ОЕС на вихідні показники цієї системи. Однією з основних проблем сучасної оптики є потреба вдосконалення чутливості оптико-електронних систем. Сприйняття інформації при низькому освітленні, різкі зміни світлового фону, викликані атмосферними чинниками перешкоджають системам працювати максимально ефективно.

#### МЕТОДОЛОГІЯ

Перед початком дослідження пропонується ознайомитися з геометричною моделлю ОЕСС (рисунок 1).

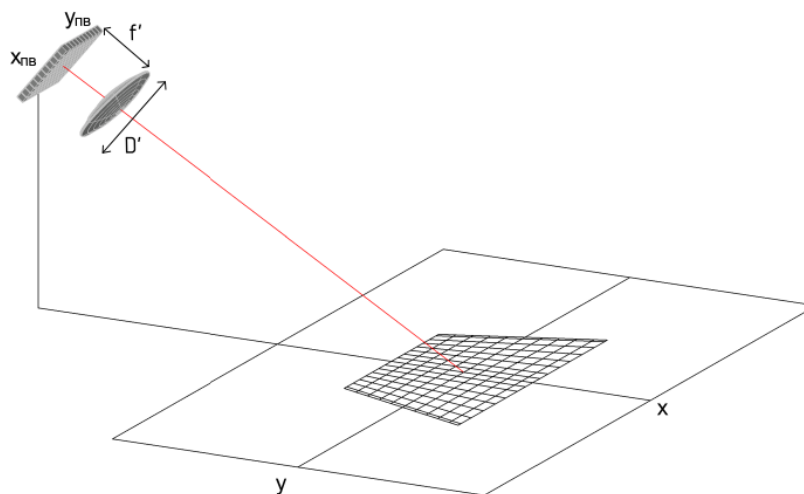


Рисунок 1. Геометрична модель ОЕСС

На рисунку запропонована телевізійна система спостереження БПЛА горизонтального слідкування. Така система веде спостереження за поверхнею і об'єктами під певним кутом відносно надиру. Система використовує об'єктив та матричний приймач випромінювання (МПВ) ПЗЗ (Пристрій з зарядовим зв'язком). На рисунку показані площини зображень та об'єктів. Оскільки така система дуже комплексна і налічує багато параметрів, таких як розмірність матриці, розміри пікселів, кути поля зору, кут спостереження, висоту тощо, в рамках дослідження було прийнято рішення звузити кількість розглядуваних параметрів до чотирьох, а саме:

- Фокусна відстань  $f'$
- Апертурна діафрагма  $D'$
- Чутливість матриці  $R'$
- Час реакції матриці  $t'$

Дані параметри обрані основними для спостереження за зміною вихідних показників на їх основі. Результуючими показниками загальної чутливості ОЕСС на основі яких будуть зроблені висновки і проведений аналіз є: роздільна здатність, світлочутливість і час реакції [1].

Формули для знаходження результуючих показників є спрощеними формулами в умовах нашої геометричної моделі з ціллю показати загальне уявлення про залежність чутливості ОЕСС від її основних параметрів[2].

Роздільна здатність оцінює здатність системи вирізняти деталі. Вона розраховується за допомогою наступної формули:

$$R = f' / D'. \quad (1)$$

Де  $f'$  – фокусна відстань, а  $D'$  – діаметр апертурної діафрагми. Світлочутливість оцінює реакцію системи на світловий потік:

$$C = D' \times L \times R. \quad (2)$$

Де  $L$  – рівень освітлення, а  $R'$  – чутливість матриці.

Час реакції вказує на швидкість відгуку системи:

$$T = t + t'. \quad (3)$$

Де  $t'$  – час реакції матриці, а  $t$  – абстрактний параметр для нашої системи, що враховує в собі параметри затримки системи, що впливають на її реакцію, в нашому випадку він буде дорівнювати 10 [3].

## **РЕЗУЛЬТАТИ**

Спершу оглянемо вплив зміни діаметру апертурної діафрагми, вона напряму буде впливати на 2 показники: роздільну здатність та світлочутливість (див. рисунок 2, рисунок 3). Параметри QE і RT є параметрами МПВ чутливості і часу реакції матриці відповідно.

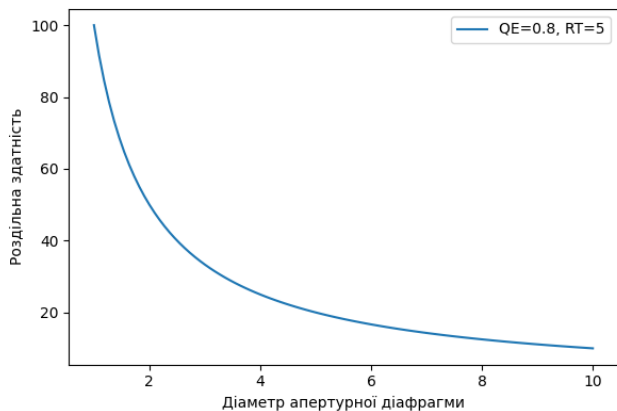


Рисунок 2. Вплив  $D'$  на  $R$

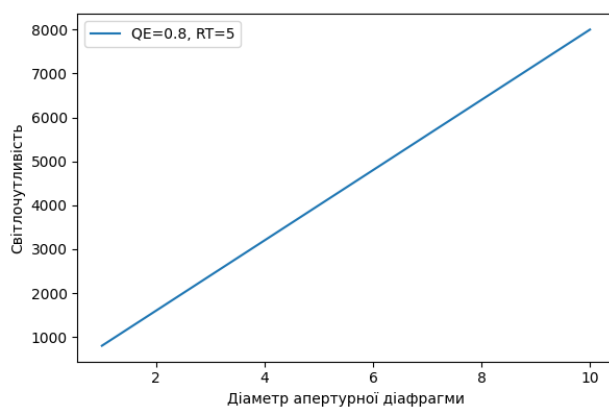


Рисунок 3. Вплив  $D'$  на  $C$

Наступним розглянемо зміну фокусної відстані, вона буде впливати на роздільну здатність (див. рисунок 4).

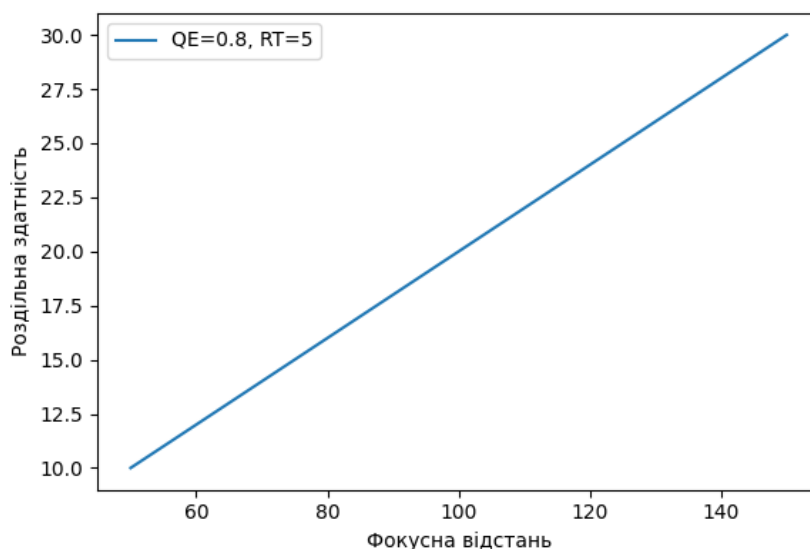


Рисунок 4. Вплив  $f'$  на  $R$

Наступними двома параметрами будуть чутливість матриці  $R'$  та час реакції матриці  $t'$  (див. рисунок 5, рисунок 6).

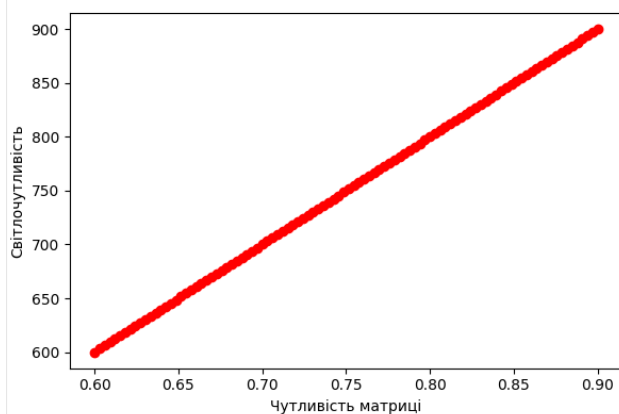


Рисунок 5. Вплив  $R'$  на  $C$

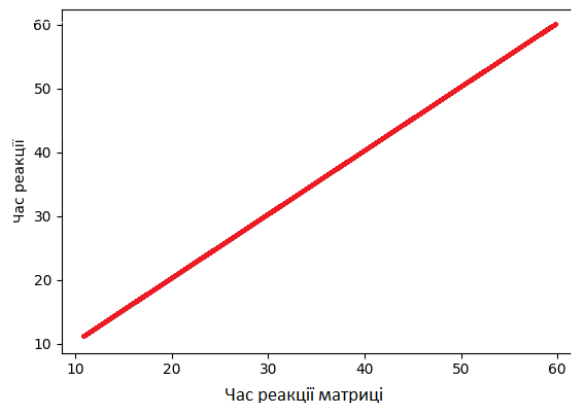


Рисунок 6. Вплив  $t'$  на  $T$

## ВИСНОВКИ

В ході проведених досліджень та розрахунків було визначено вплив чотирьох основних параметрів ОЕСС на її загальну чутливість і результативні



показники. Таким чином було визначено, що зміна діаметра апертурної діафрагми впливає на роздільну здатність та світлочутливість ОЕСС, а саме: при високому значенні  $D'$  падає роздільна здатність, що є поганим показником для вихідного зображення. В свою чергу світлочутливість зростає із зростанням  $D'$ . Далі був розглянутий параметр фокусної відстані, який також впливає на роздільну здатність, а саме зі збільшенням фокусної відстані росте й роздільна здатність. Останніми двома параметрами огляду були чутливість та час реакції матриці, які закономірно впливають на зріст своїх вихідних показників: світлочутливість та час відгуку системи.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Kolobrodov, V. H., Lykholit, M. I., Mykytenko, V. I., Tiagur, V. M., Dobrovolska, K. V. Calculation Model for Optoelectronic Remote Sensing System's Radiometric Resolution at Arbitrary Viewing Angles / Visnyk NTUU KPI Seria – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia, 2017, Iss. 69, pp. 30–34.
- [2] Valentin G. Kolobrodov; Catherine V. Dobrovolska; Volodymyr I. Mykytenko; Grygorij S. Tymchik; Volodymyr M. Tiagur; Paweł Komada; Assel Mussabekova; Aliya Targeusizova; Aigul Iskakova Spaceborne linear array imager's spatial resolution for arbitrary viewing angles / Proceedings of SPIE V. 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017; 104450J (2017); doi: 10.1117/12.2280909
- [3] Колобродов В.Г. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження / В.Г. Колобродов, М.І. Лихоліт. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2007. – С. 363. [0]

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Микитенко В.І.*

## УДК 621.384.3

*В.О.Голик, студентка гр. ПО-31мп, д.т.н., професор Колобродов В.Г.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНТЕГРАЦІЇ RGB-LWIR ТЕХНОЛОГІЙ У МАШИННОМУ НАВЧАННІ

**Анотація:** Ця робота аналізує ефективність використання комбінованих RGB-LWIR моделей у машинному навчанні для виявлення об'єктів, з акцентом на економічну доцільність та продуктивність. Обговорюються технологічні та алгоритмічні аспекти, зокрема використання мережі YOLOv7, для оптимізації багатоспектрального виявлення об'єктів.

**Ключові слова:** обробка зображень RGB, LWIR, машинне навчання, виявлення об'єктів.

#### ВСТУП

Сучасні дослідження в області виявлення об'єктів спостереження активно використовують моделі, засновані на аналізі зображень у видимому спектрі (RGB). Проте, існуючі проблеми, як-от обмежена видимість, спонукали дослідників досліджувати поєднання RGB з Довгохвильовим Інфрачервоним (LWIR) спектром для поліпшення виявлення об'єктів [1]. Ця робота зосереджена на оцінці ефективності таких комбінованих RGB-LWIR моделей у порівнянні з окремими RGB чи LWIR підходами, дослідженні розвитку мультиспектрального виявлення об'єктів, аналізі ключових факторів, що впливають на ефективність розпізнавання об'єктів, та аналіз створення навчального набору даних для подальших досліджень.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Ця робота має на меті оцінити моделі машинного навчання, що інтегрують RGB та LWIR зображення, з акцентом на економічні аспекти. З урахуванням високої вартості LWIR технологій, дослідження зосереджується на визначенні оптимального балансу між вартістю та продуктивністю різних підходів для розвитку більш ефективних та доступних багатоспектральних систем виявлення об'єктів.

#### ОБРАНІ ДАТЧИКИ ТА УСТАНОВКА

Обрана для проведення дослідження LWIR камера - FLIR Vue Pro R, коштує 2914 доларів США. Ця камера має поле зору 45° та діаметр вхідної зіниці об'єктива 6.8 мм, забезпечуючи роздільну здатність 336 × 256 пікселів та спектральну смугу 7.5–13.5 μm (див. рисунок 1). Частота кадрів 30 Гц.

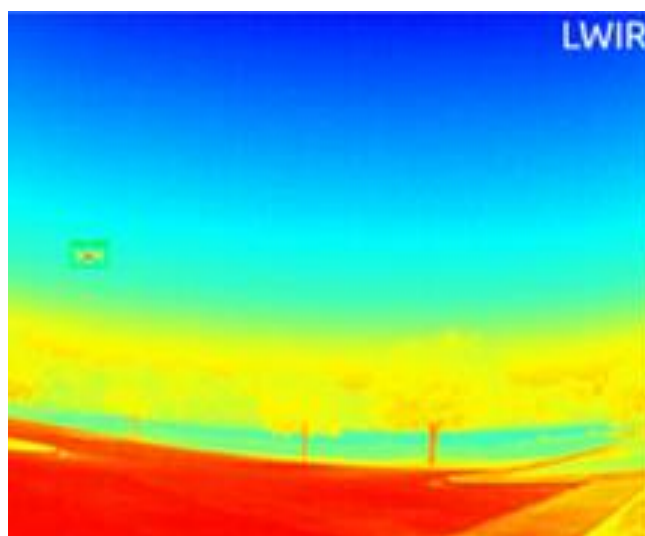


Рисунок 1. Приклад зображення LWIR [2].



Рисунок 2. Приклад зображення RGB (зліва), комбінованого зображення RGB-LWIR (справа).

Також обрано RGB камеру RunCam 5 Orange, 110 доларів США (див. рисунок 2). Камера використовує 12-мегапіксельний датчик зображення Sony IMX377 з полем зору 145° та регульованою роздільною здатністю від 1080P при 60 FPS до 4K при 30 FPS. Зображення з обраних камер наведено на рисунку 2.

## АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ТА ОТРИМАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

У процесі навчання мережі використовуються техніки обробки зображень для збільшення кількості даних у навчальному наборі, а також для створення зображень з підкресленим контуром, щоб підвищити продуктивність навчання моделі (див. рисунок 3). Застосовується шість технік аугментації зображень та виявлення контурів, включаючи перевертання, розмиття, розмиття з перевертанням, гаусівське порогове значення (GT), DoG та Sobel-XY [3].

Після обробки зображень генерується 5400 нових навчальних зображень, що у сумі дає 6300 зображень. 90% датасету (5670 зображень) використовується для тренування, 5% (315 зображень) - для валідації, і решта 5% (315 зображень) - для тестування.

Тренування моделей на розмитих зображеннях збільшує ймовірність виявлення цілей. Це особливо важливо, оскільки воно гарантує, що модель буде ефективною навіть коли зображення розмиті через рух камери, рух цільового об'єкта, або обох.

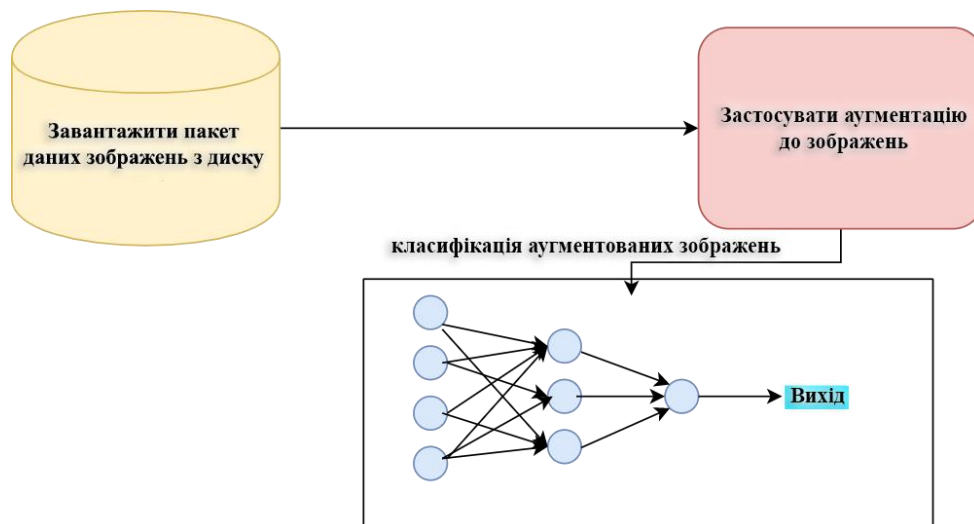


Рисунок 3. Навчання глибокої нейронної мережі як на оброблених зображеннях, так і на оригінальних зображеннях [4].

## МОДЕЛЬ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ

Для виявлення об'єктів було використано мережу YOLOv7, яка є однією з варіацій згорткової нейронної мережі (CNN). Згорткові нейронні мережі - це клас глибоких нейронних мереж, що широко використовуються у задачах обробки

зображень та відео, які ефективно визначають важливі елементи на зображеннях для подальшої класифікації або виявлення об'єктів. YOLO (You Only Look Once) - це популярна модель, яка відрізняється тим, що проводить виявлення об'єктів в зображенні за один прохід («епоху»), швидко і ефективно.

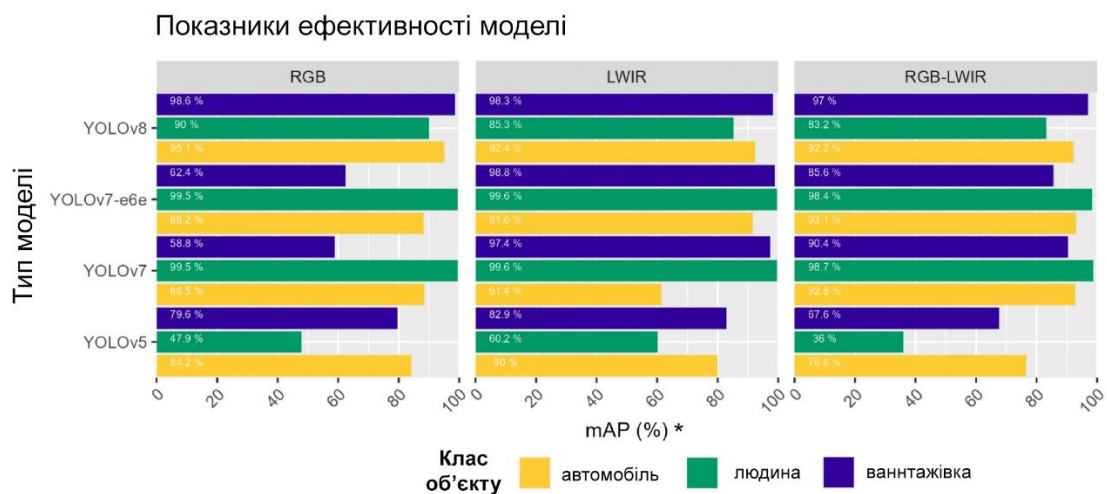
YOLOv7 була обрана через її високу швидкість та точність, але має обмеження у виявленні маленьких об'єктів через просторові обмеження алгоритму. Для дослідження використовувалась стандартна версія YOLOv7 через її малий розмір та високу швидкість обробки, що робить її ідеальною для використання на переносних пристроях [5].

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ І ПОРІВНЯННЯ

Стандартна версія YOLOv7, як згадувалось раніше, є найменшою за розміром та найшвидшою (середній час результату 2.8 мс), проте варіант YOLOv7-E6E показує на 4.7% вищу середню точність (mAP), але з більшим часом на 16.9 мс.

Аналіз трьох інших моделей YOLO показав, що ефективність датчиків залежить від типу моделі для розпізнавання. Наприклад, як видно з інформації на рисунку 4, модель RGB показала найкращі результати з YOLOv8 (95.5% mAP), але найгірші з YOLOv7-E6E (83.3% mAP). Також було помічено значне зростання ефективності розпізнавання LWIR між YOLOv7 та YOLOv7-E6E (на 10.5%).

Моделі RGB-LWIR показали стабільну ефективність між YOLOv7, YOLOv7-E6E та YOLOv8 (рисунок 4), демонструючи меншу залежність від конкретних версій моделей. Вона має перевагу в розпізнаванні об'єктів незалежно від умов навколишнього середовища. Для тренування використовувалася велика кількість зображень (2100), з балансованим розподілом між класами об'єктів (автомобіль, вантажівка, людина), і було приділено особливу увагу уникненню перенавчання мережі, обмеживши тренування 55 проходами («епохами»).



\* mAP (mean Average Precision) є показником, який використовується для оцінювання якості моделей, вимірює точність моделі. Середня точність (AP) для кожного класу визначається як середнє значення точності, розраховане для різних порогових значень.

Рисунок 4. Модель, клас об'єкта та точність датчика, представлені різними моделями виявлення об'єктів [6].

## **ВИСНОВКИ**

Комбіноване використання RGB та LWIR у моделях машинного навчання демонструє значну перевагу у здатності розпізнавати об'єкти в різних умовах, включаючи зміни у освітленні та температурі. Цей підхід не тільки покращує розпізнавання в різноманітних середовищах, але й відкриває шляхи для економічно ефективного розгортання багатоспектральних систем виявлення об'єктів, як у промислових, так і в наукових дослідженнях.

Враховуючи високу вартість LWIR технологій, аналіз показує, що комбіновані моделі можуть забезпечити оптимальне співвідношення вартості та продуктивності, що є ключовим для масштабного впровадження цих технологій. Подальші дослідження та розвиток у цій області можуть сприяти створенню більш точних, ефективних та доступних рішень для виявлення об'єктів у складних умовах.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Голик, В. О. Оптико-електронна система поляриметричного тепловізора : *дипломна робота ... бакалавра : 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Голик Валерія Олександрівна. – Київ, 2023. – 101 с.*
- [2] Goecks, V. G., Woods, G., & Valasek, J. (2020, April). *Combining visible and infrared spectrum imagery using machine learning for small unmanned aerial system detection. In Automatic Target Recognition XXX (Vol. 11394, pp. 198-207). SPIE.*
- [3] Момот, А. С., & Мамута, М. С. (2022). *Інтелектуальні та інформаційні системи. Практикум.*
- [4] Du, J. (2018, April). Understanding of object detection based on CNN family and YOLO. *In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1004, p. 012029). IOP Publishing.*
- [5] Lee, Y. H., & Kim, Y. (2020). *Comparison of CNN and YOLO for Object Detection. Journal of the semiconductor & display technology, 19(1), 85-92.*
- [6] Gallagher, J., & Oughton, E. (2022). *Assessing thermal imagery integration into object detection methods on ground-based and air-based collection platforms. arXiv preprint arXiv:2212.12616*

**Наук. керівник – д.т.н., проф. В.Г. Колобродов**

УДК 532.42

*Б.О. Кожушко, студент гр. ПО-21мн, д.т.н., проф. Колобродов В.Г.,*

*к.т.н. Васильковська І.О.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ КОГЕРЕНТНИХ ОПТИЧНИХ СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРІВ**

*Анотація.* У статті розглядаються економічні переваги когерентних оптичних спектроаналізаторів у сфері аналітичних приладів. Проаналізовані поточні ринкові тенденції, визначаючи ключових гравців та підкреслюючи економічний вплив впровадження КОС в різні галузі промисловості, науки і техніки.

**Ключові слова:** когерентні оптичні спектроаналізатори, обробка інформації.

### **ВСТУП**

Сучасна сфера аналітичних приладів продовжує стрімко розвиватися і когерентні оптичні спектроаналізатори (КОС), зокрема, грають одну із провідних ролей в системах обробки інформації для застосування в різних наукових і промислових областях. У даній статті розглянемо економічні переваги і вигоди, отримані від впровадження КОС, а також визначимо поточні ринкові тенденції в галузі аналітичного приладобудування, з акцентом на них. Особливостями когерентних оптичних систем є можливість працювати як з амплітудами, так і з фазами світлового поля, що дає змогу розв'язувати велику кількість задач, спрямованих на обробку двовимірних функцій від амплітуд і фаз світла [1]. Широке розповсюдження цих систем пов'язане із високою швидкістю обробки великих масивів інформації.

### **СУЧАСНІ РИНКОВІ ТЕНДЕНЦІЇ В ГАЛУЗІ АНАЛІТИЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

Завдяки технологічному прогресу та зростаючому попиту на точні аналітичні методи, галузь аналітичного приладобудування переживає зміну парадигми. КОС служать потужними інструментами для обробки інформації, пропонуючи спектроскопію високої роздільної здатності, аналіз у реальному часі та здатність отримувати цінну інформацію зі складних оптичних сигналів [1]. Універсальність робить їх важливими для різних наукових та промислових задач. Сучасна тенденція розвитку обумовлена зростаючою потребою у високопродуктивних та ефективних технологіях, серед яких КОС виділяються як перспективне рішення для отримання точних вимірювань.

У сфері когерентних оптичних аналізаторів можливість вилучення інформації в реальному часі стає ключовим фактором, що впливає на економічні аспекти аналізу даних і прийняття оперативних рішень. Безперервний моніторинг оптичних сигналів у режимі реального часу забезпечує економічні переваги завдяки підвищенню ефективності в різних галузях промисловості. У хімічних процесах здатність спостерігати динамічні зміни в спектральних зображеннях сприяє глибшому розумінню кінетики реакції, завдяки оптимізованому використанню ресурсів і зниженню виробничих витрат [2].

Аналіз даних у реальному часі – це відмінна риса когерентних оптичних аналізаторів, що позитивно впливає на виробництво в різних сферах. Швидке й

автоматичне коригування виробничих процесів, зумовлене отриманням інформації в реальному часі, забезпечує якість продукції, мінімізуючи дефекти та пов'язані з ними економічні втрати. Економічні переваги проявляються при контролі та оптимізації процесів, забезпечується ефективність роботи та зменшення фінансового впливу похибок різного характеру [2].

Моніторинг навколишнього середовища забезпечується також можливостями миттєвого спектрального аналізу, що стає економічно розумною інвестицією. Швидка ідентифікація забруднень або певних, навіть не значних, змін у навколишньому середовищі дозволяє оперативно та своєчасно впроваджувати заходи ліквідації негативних наслідків, що потенційно запобігає шкоді для навколишнього середовища [3].

У секторі охорони здоров'я економічні переваги швидкої обробки інформації в реальному часі в КОС спостерігаються в медичній діагностиці. Швидке виявлення аномалій або захворювань дозволяє негайно приймати рішення щодо догляду за пацієнтами, потенційно знижуючи витрати на охорону здоров'я, пов'язані з тривалим лікуванням чи зайвим оперативним втручанням.

Крім того, автоматизація сприяє обробці інформації в реальному часі, що має позитивні економічні наслідки. Системи із замкнутим контуром, що керуються КОС, забезпечують автоматичне налаштування параметрів системи, зменшуючи потребу в постійному ручному контролі. Автоматизація не тільки підвищує ефективність роботи, але й мінімізує витрати на робочу силу, сприяючи загальній економічній стабільності [3].

Також варто зазначити, що мультиплексування та паралельна обробка інформації, яку забезпечують КОС, є перевагами, які підвищують їх ефективність, дозволяючи проводити одночасний аналіз кількох спектральних компонентів. Завдяки таким методам, як мультиплексування за довжиною хвилі (WDM), ці аналізатори можуть обробляти різноманітні набори спектральних даних одночасно, забезпечуючи значне збільшення пропускної здатності. Цей паралельний підхід є особливо вигідним у сценаріях, де оперативне вилучення інформації має першочергове значення, наприклад у високошвидкісних виробничих процесах або динамічному моніторингу навколишнього середовища. Можливість аналізувати кілька спектральних каналів одночасно не тільки збільшує швидкість збору даних, але й максимально використовує можливості аналізатора. По суті, поєднання мультиплексування та паралельної обробки в КОС є прикладом складної спільної дії, яка значно підвищує аналітичну ефективність і універсальність цих передових інструментів [4].

На ринку аналізаторів когерентного оптичного спектра наразі домінують кілька ключових гравців, серед яких, зокрема, Thorlabs, Keysight Technologies і Agilent Technologies. Ці компанії використовують значні ресурси для досліджень і розробок, що дозволяє їм утримувати значні частки ринку [5]. Конкурентна динаміка в цьому секторі характеризується постійним припливом інноваційних рішень і розширенням спектру застосування КОС.

Впровадження КОС відкриває нові можливості для зростання в різних галузях промисловості. Висока чутливість і можливості швидких вимірювань роблять їх незамінними в медичній діагностиці, хімії, біотехнології та інших

галузях. Нові дослідницькі програми постійно вивчають способи оптимізації використання КОС у виробничих процесах і наукових дослідженнях. Економічний вплив є значним і зумовлений підвищенням продуктивності в різних галузях та створенням нових ринків [6].

Технологічні прориви в оптичній електроніці, матеріалознавстві та розробці програмного забезпечення суттєво впливають на сферу когерентних оптичних спектроаналізаторів. Інтеграція нових матеріалів і технологій дозволяє створювати ефективніші та економічніші прилади. Це позитивно впливає ефективність використання КОС і розширює сферу їх застосування.

## **ВИСНОВКИ**

Впровадження КОС є ключовим досягненням в аналітичних технологіях, що приносить значні економічні вигоди. Вивчаючи ринкові тенденції, визначаючи ключових гравців, оцінюючи можливості зростання і розуміючи вплив технологічного прогресу, стає очевидним, що КОС готові відігравати трансформаційну роль у різних галузях промисловості, сприяючи економічному зростанню і технологічним інноваціям. Оскільки галузь продовжує розвиватися, постійні дослідження і розробки, ймовірно, відкриють нові сфери застосування і ще більше посилять економічні вигоди КОС.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Когерентні оптичні спектроаналізатори: монографія / В.Г. Колобродов, Г.С. Тимчик, М.С. Колобродов. – К. : Вид-во «Політехніка», 2015. – 180 с.
- [2] Chen, Y., & Zhang, Y. (2020). Trends and advances in analytical instrumentation. *Analytical Chemistry*, 92(1), 140-146.
- [3] Smith, D. A. (2021). Emerging technologies in optical spectroscopy for analytical applications. *Journal of Analytical Science and Technology*, 14, 67-78.
- [4] "Global Optical Spectrum Analyzer Market Insights, Forecast to 2029". Режим доступу: Global Optical Spectrum Analyzer Market Insights, Forecast to 2029 (giiresearch.com)
- [5] Mordor Intelligence Research & Advisory. (2023, July). Photonics Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2023 - 2028). Mordor Intelligence. Retrieved December 14, 2023 from <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/photonics-market-market>
- [6] "Photonics Market Size, Trends, Growth, Report ". Режим доступу: Photonics Market Size, Trends, Growth, Report 2032 (precedenceresearch.com)



**УДК 621: 681.7**

*С.В. Мельничук, студент гр. ПО-21мн, д.т.н., проф. Колобродов В. Г.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З УДОСКОНАЛЕННЯ ОХОЛОДЖУВАНОВОГО ФОТОПРИЙМАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ОГС ПЗРК ТА ЗАХОДИ ПОЛІПШЕННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГС**

*Анотація.* Доповідь присвячена вдосконаленню охолоджуваного фотоприймального пристрою оптичної головки самонаведення переносного зенітно-ракетного комплексу з метою підвищення його тактико-технічних характеристик, зменшення експлуатаційних витрат, підвищення ефективності в бойовому застосуванні та розширення можливостей в експлуатації. Основний акцент робиться на збільшенні часу автономної роботи головки шляхом впровадження нового елемента, що накопичує холодоагент поряд з приймачем випромінювання. В рамках дослідження були проведені випробування та аналіз функціональності вдосконаленої системи, результати яких свідчать про позитивний вплив цього покращення на характеристики ПЗРК.

**Ключові слова:** переносний зенітно-ракетний комплекс, оптична головка самонаведення, холодоагент, охолоджувальний фотоприймальний пристрій, мікроохолоджувач.

### **ВСТУП**

Одними з дієвих та ефективних засобів протиповітряної оборони безпосередньо на передовій лінії фронту є переносні зенітно-ракетні комплекси (ПЗРК) з оптичною головкою самонаведення (ОГС), розроблені і виготовлені на вітчизняних підприємствах.

В свій час цей комплекс був одним з найкращих в світі в своєму класі і тисячі цих комплексів були поставлені на озброєння радянської армії та до інших численних країн світу. Нині, на українсько-російському фронті цими ПЗРК збито чимало літаків та гелікоптерів ворога, а також безпілотних літальних апаратів і навіть крилатих ракет [1]. В той же час цей застарілий комплекс повинен бути модернізованим, оскільки в малогабаритній ОГС реалізовані мінімально-достатні тактико-технічні характеристики з обмеженими можливостями їх поліпшення.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Структурно комплекс складається із ракети з інфрачервоною ОГС для захвату теплової цілі та пускового механізму (пускова труба), в якому, окрім інших функціонально-необхідних блоків, розміщений також і газобалон високого атмосферного стисненого газу (азоту).

Після візуального виявлення цілі оператор включає подачу стиснутого азоту до дросельного мікро охолоджувача, що є складовою охолоджувального фотоприймального пристрою (ОФПП) в ОГС ракети [1].

Дросельний мікро охолоджувач, який працює на ефекті Джоуля-Томсона: розріджений холодоагент протягом 6 секунд вприскується в кріореактор, над яким розташований модуль напівпровідникових ІЧ-фотоприймачів. Температура холодоагенту – мінус 195°C. Він охолоджує фотоприймачі до їх робочої температури. Після випаровування холодоагент втрачає необхідні для охолодження фотоприймачів властивості і виводиться назовні кріореактора. В ОГС фотоприймачі виходять на робочий режим функціонування завдяки потужному потоку холодоагенту менш ніж за 4 сек.

З цього моменту оператор має 2 секунди на прицілювання до теплового захвату цілі і після закінчення напуску газу на шостій секунді має здійснити пуск ракети. Після цього часу ОФПП працює вже тільки на накопиченому металевому конструкцією

фотоприймального модуля (ФПМ) до 15 сек. Цього часу досить для забезпечення недовготривалого польоту ракети до цілі, відстань до якої не повинна перевищувати 5.5 км.

Виконати всі прицільні операції за 2 сек спроможні лише дуже натреновані оператори. Притримати момент пуску ракети ще на кілька секунд – небезпечно; залишкового часу автономної роботи (тавт) ОФПП на накопиченому холоді може не вистачити для забезпечення керованого польоту ракети на дистанцію ураження.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті даного дослідження було проаналізовано як конструкцію комплексу так і особливості його застосування оператором у бою. За цими жорсткими умовами застосування ПЗРК погіршується і результативність враження повітряних цілей: оператор не встигає захватити ціль, якщо вона на великій швидкості і малій висоті пролітає над позицією зенітно-ракетного розрахунку і більш вдало працює по цілі, якщо вона пролітає повз на відстані 1-2 км, тоді можна пустити ракету навздогін, і ще краще якщо літак після першого бомбардування розвертається для повторного удару в ті ж 6 сек від візуального виявлення – тоді запущена навздогін ракета впевнено вражає ціль. Це – найпростіший варіант застосування ПЗРК. Для більш впевненого враження цілі рекомендується працювати по цілі одночасно кількома ПЗРК-розрахунками, що добре «в теорії», але маловірогідно в умовах фронтового бою та й витратно і за обмеженим боєкомплектom і немалою його вартістю.

Очевидно, що всі показники застосування ПЗРК і, в першу чергу – комфортна ергономіка роботи оператора можуть бути суттєво покращені, якщо б оператор починав свою передпускову роботу не від візуального виявлення об'єкта враження, вже над своєю головою, а, скажімо, - по дальньому цілевказуванні – приводу (якщо воно є), або ж (що більш реально) – по звуку реактивних двигунів на підльоті цілі, які чутно за 5-10 км до підльоту цілі в зону враження.

У цьому разі оператор мав би запас часу на передпускову підготовку і прицілювання більш як 10 сек і спокійно чекав би ціль до пуску ракети на зустрічному курсі.

Але з обмеженого ресурсу часу роботи ОГС ПЗРК, обмеженого регламентом його застосування не вдається виділити цей «золотий час» на підготовку та прицілювання.

На задоволення цієї потреби і спрямовані наші пошукові дослідження, маючи на меті опрацювання заходів і засобів для суттєвого підвищення тавт на 50-100% в незмінній конструкції ОГС.

Найперший дослід для досягнення цієї мети – оптимізувати та поліпшити термофізичні характеристики ОФПП. В існуючій конструкції вони далекі до оптимуму: вприскування «факелу» рідкокрапельного кріоагенту в кріореактор здійснюється крізь вхідний отвір кріореактора на перетині вхідного отвору з металевим конструкційним конусом. Конус і широкий вхідний отвір потрібні для забезпечення безперешкодного повороту інжектора мікроохолоджувача у просторовому куті  $\pm 45^\circ$  при маневрах ракети і синхронних поворотах відокремленого від мікро охолоджувача ФПМ. (через малу потужність малогабаритного гіроблоку ФПМ встановлюється у роторі гіроблоку, а мікро охолоджувач – у статорі).

Отже потужний «факел» кріоагенту швидко (за секунди його подачі) охолоджує нижню площину ФПМ, але й так же швидко, у невідпрацьованому, рідкому виді і покидає кріореактор, при цьому шкідливо переохолоджує шарикопідшипники

гіроблоку [2].

Бокові пелюстки факелу частково окроплюють бокові металеві стінки кріореактора, і охолоджують їх до випаровування кріоагенту і цей холод, з втратою охолоджувальних властивостей передається до фото приймального модуля.

В конструкції ОФПП задіяні і заходи та засоби пасивного термозахисту зони кріореактора і ФПМ з краплями кріоагенту для максимально можливого, в даній конструкції ОФПП, часу охолодження – зовнішня поверхня корпусного конусу обкладена капсулами, наповненими термоізоляційною мінералізованою ватою.

Коефіцієнт корисної дії такого ОФПП в частині ФПМ – бажає бути кращим, а ФПМ має бути максимально (за можливостями обмежених розмірів) удосконаленим.

За цих умов нами опрацьовані наступні заходи покращення ОФПП з їх лабораторно-експериментальною реалізацією:

- введення у кріореактор волого поглинаючого та холоднакопичувального блоку;
- діафрагмування вхідного отвору кріореактора до 0.8 мм зі збереженням необхідних поворотів ФПМ навколо інжектора кріореактора, що запобігає непродуктивному витoku невідпрацьованого, рідкого кріоагенту за межі кріореактора і додатково продовжує його охолоджувальну роботу
- діафрагмений утримувач волого накопичувального елемента, виготовлений з матеріалу з низькою теплопровідністю, наприклад – фторопласту, стане додатковим термозахисним бар'єром.

За цими заходами і засобами нам вдалося суттєво поліпшити термофізичні характеристики ОФПП без змін базової конструкції ФПМ:

- час виходу ФП на робочий режим твix не змінився;
- Час автономної роботи після припинення першої подачі кріоагенту тавт збільшився на 86.6% , а при подовженій подачі кріоагенту на 90%.

Ці ТТХ дозволяють суттєво підвищити характеристики бойового застосування ПЗРК та перспективних її модифікацій.

За результатами експериментальних досліджень можна надати ще одну рекомендацію, спрямовану на поліпшення характеристик ОФПП ОГС ПЗРК, а саме – збільшити час подачі стисненого азоту до мікро охолоджувача на 66%. Це не завадить при неспішному очікуванні підльоту цілі ближче до позиції ПЗРК, але підвищить час автономної роботи на 133% і більше).

Таким чином загальний час передпускової підготовки збільшиться на 66%, а час автономної роботи – на 133%, при чому частина часу автономної роботи (до 30%) може бути використана на передпускову підготовку, якщо оператору знадобиться більше часу. В такому разі залишкового часу автономної роботи з запасом вистачить для забезпечення керованого польоту ракети і ураження цілі. А режим застосування ПЗРК на ураження повітряних об'єктів зміниться з стрільби по траєкторії (як у тирі) до полювання із засідки.

Запровадження запропонованого вдосконалення, спрямованого на збільшення часу автономної роботи головки, прямо вплине на зниження експлуатаційних витрат ПЗРК. Зараз, при відсутності цього покращення, змушені проводити частіше заміну та дозаправку балона холодоагенту, у випадках коли часу передпускової підготовки не вистачає на прицілювання або захват цілі, що призводить до додаткових витрат часу та ресурсів.

Покращення тактико-технічних характеристик ОГС забезпечить більш високу ефективність ПЗРК в умовах сучасних бойових сценаріїв. Це може призвести до зменшення кількості витратних матеріалів та збільшення кількості уражених цілей, що в свою чергу сприятиме зменшенню фінансових витрат на відновлення або заміну систем.

Збільшення часу автономної роботи головки, завдяки новому рішенню, також відкриває можливості для розширення функціоналу ракети. Такі можливості можуть включати підвищення дальності виявлення цілей, покращення стійкості до температурного режиму, а також можливість розробки комплексу заходів і засобів для встановлення приладу на наземну платформу або літальний апарат, що можуть зробити систему більш універсальною та адаптованою до різноманітних завдань.

Вдосконалення ОГС ПЗРК може позитивно вплинути на його конкурентоспроможність на міжнародному ринку. Зокрема, покращення ефективності та розширення функціоналу можуть зробити систему привабливішою для потенційних замовників, що підвищить експортний потенціал виробника.

Запровадження вдосконалення в охолоджуваному фото приймальному пристрої є стратегічно важливим для підтримання та розвитку військово-промислового комплексу. Це також сприятиме збільшенню національної безпеки, що є ключовим аспектом економічного розвитку та стабільності країни.

Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що вдосконалення охолоджуваного фото приймального пристрою має суттєвий економічний вигляд і буде ефективним з точки зору оптимізації витрат та підвищення бойових можливостей ПЗРК.

## **ВИСНОВКИ**

Дослідження та вдосконалення охолоджуваного фото приймального пристрою Оптичної головки самонаведення ПЗРК виявилися перспективними з точки зору підвищення його бойових та експлуатаційних характеристик. Введення нового елемента для накопичення холодоагенту призвело до збільшення часу автономної роботи головки, підвищення точності та зниження витрат на експлуатацію.

Економічна доцільність вдосконалення обумовлена зменшенням витрат на технічне обслуговування, підвищенням потенціалу експорту та загальним впливом на стійкість та ефективність ПЗРК. Проведені дослідження підтверджують переваги вдосконаленої системи, роблячи її ключовим елементом в модернізації військово-промислового комплексу та забезпеченні національної безпеки.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Міністерство оборони СРСР - Переносний зенітно-ракетний комплекс «Ігла1» технічний опис та інструкція по експлуатації. – Військове видавництво, 1983, — 121 с.
- [2] Yunus A. Cengel and Michael A. Boles –«Thermodynamics: An Engineering Approach» - McGraw-Hill Education 2006, — 403 с.
- [3] Г.С. Писаренко – Опір матеріалів : підруч. для студ. ВНЗ – Київ, Вища школа, 1979. — 608 с.

**УДК 535.4**

*В.О. Єресько, студент гр.ПГ-21мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ДИФРАКЦІЙНИХ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ**

**Анотація.** У цій статті досліджуються економічні переваги впровадження комп'ютерно-інтегрованих дифракційних освітлювальних систем з огляду на економічну ефективність та енергозберігаючі характеристики.  
**Ключові слова:** система автомобільного освітлення, дифракційні лінзи, відбивач.

### **ВСТУП**

З огляду на постійне вдосконалення автомобільних технологій досягнення високої ефективності в проектуванні кожної складової автомобіля є рушійною силою розвитку. Серед інновацій, що трансформують галузь, можна виділити використання дифракційних лінз в автоматизованих системах освітлення.

Традиційні системи автомобільного освітлення є основним продуктом на ринку, але їх ефективність є тим фактором, який очевидно можна покращити. Застосування комп'ютерно-інтегрованих дифракційних систем освітлення дозволяють не тільки досягти кращого освітлення шляху, але й забезпечити більш економічну подорож. Ефективність полягає в здатності дифракційних лінз точно контролювати напрямок та інтенсивність світла, мінімізуючи розсіювання та максимізуючи освітлення там, де це найбільш необхідно.

У статті ми заглибимося в економічні нюанси, досліджуючи, як ефективність витрат і енергозбереження змінюють нові перспективні технології автомобільного освітлення.

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою даної статті є ознайомлення із сучасним станом ринку дифракційних лінз(ДЛ) та їх ефективності в комп'ютерно-інтегрованих освітлювальних системах для покращення розуміння співвідношення наявних результатів наукових досліджень з попитом у світі.

### **МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

У світі автомобільної техніки еволюція систем освітлення досягла нових висот завдяки інтеграції точного освітлення через дифракційні лінзи. Ця технічна інновація знаменує відхід від традиційних методів освітлення, відкриваючи нову еру ефективності, адаптивності та безпеки завдяки можливості проектування сучасних автомобільних фар зі змінною діаграмою направленості випромінювання, яка адаптується до стану навколишнього середовища та швидкості руху автомобіля [1].

В основі цієї технічної революції лежить складність дифракційних оптичних елементів (ДОЕ). ДОЕ мають широкі функціональні можливості, мінімальні масо-габаритні характеристики, низьку собівартість тиражування [2] – усі перераховані аспекти забезпечують багатообіцяючі перспективи інтеграції ДОЕ в освітлювальні пристрої [3]. Насамперед, це пристрої, що формують монохроматичне випромінювання. Однак розвиток сучасних технологій

створення багатопорядкових оптичних елементів з висотою рельєфу, пропорційною значній кількості довжин хвиль, не лише дозволяють зберегти переваги дифракційної оптики, але й мінімізувати хроматичні аберації [4].

При проектуванні автомобільного освітлення слід враховувати міжнародні вимоги до діаграми направленості випромінювання такої оптичної системи, що полягає в формуванні віддаленого розподілу інтенсивності, схематично представленого на рис.1. Побудова такої форми діаграми направленості випромінювання пояснюється не лише необхідністю освітлення дороги перед автомобілем, але й задачею освітлення частини простору, що безпосередньо прилягає до шосе у напрямку руху, і вимогою не осліплювати водіїв транспорту, що рухаються назустріч [3-4].

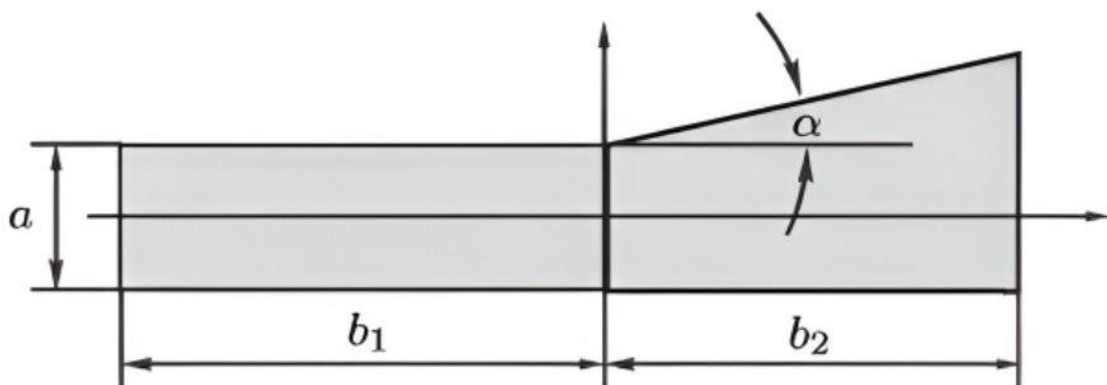


Рисунок 1. Необхідна форма діаграми спрямованості автомобільної фари.

В сучасному автомобілебудуванні задача формування необхідної діаграми направленості, зокрема, вирішується шляхом використання складної форми відбивача (рис.2.) діафрагми, що розміщується в передній фокальній площині потужного ДОО і повторює їх форму діаграми направленості та інше.

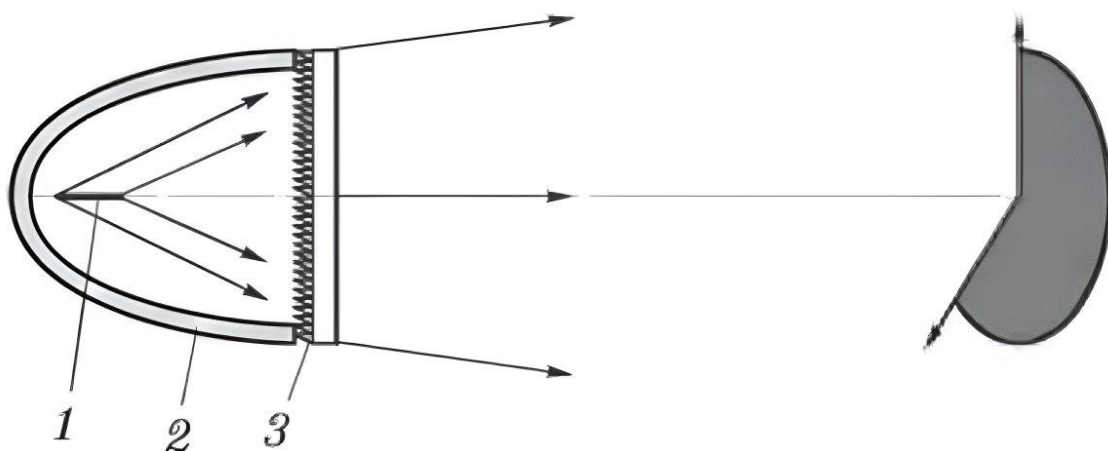


Рисунок 2. Найпростіша оптична схема автомобільної фари з ДОО: 1 – джерело світла, 2 – параболічний відбивач, 3 - ДОО.

Використання унікальних функціональних можливостей ДОЕ дозволяє спростити форму відбивача, підвищити енергетичну ефективність та технологічність системи освітлення, покращити її функціональні характеристики та зменшити вартість виготовлення.

Технічні можливості дифракційних лінз виходять за межі статичних діаграм направленості променів. Автоматизовані системи автомобільного освітлення, оснащені цими лінзами, можуть динамічно регулювати розподіл світла у відповідь на зміну умов руху. Датчики, камери та бортові алгоритми працюють у тандемі, щоб аналізувати такі фактори, як швидкість автомобіля, кермо та умови навколишнього середовища. Цей адаптивний підхід гарантує, що система освітлення оптимально реагує на динамічні вимоги дороги, забезпечуючи рівень взаємодії, який колись неможливо було уявити [1, 4].

Технічні досягнення в області точного освітлення бездоганно поєднуються з ширшою системою інтелектуальних транспортних засобів. Дифракційні освітлювальні системи можна інтегрувати в загальну мережу датчиків автомобіля, що дозволяє обробляти дані та приймати рішення в реальному часі. Ця інтеграція не тільки підвищить безпеку, адаптуючись до змін навколишнього середовища, але й сприятиме загальній ефективності автомобіля, відповідаючи тенденції до автономного водіння [4].

Виробництво дифракційних лінз вимагає точності та інновацій [5]. Виробники використовують найсучасніші матеріали та технології виробництва, щоб забезпечити відповідність лінз суворим стандартам щодо оптичної чіткості та довговічності [5-6]. Технічна досконалість у створенні цих лінз сприяє їх довговічності, роблячи їх надійним компонентом у сфері автомобільного освітлення, що постійно розвивається.

Оскільки автомобільні технології продовжують розвиватися, технічні аспекти точного освітлення відкривають двері для майбутньої взаємодії. Інтеграція дифракційних лінз із новими технологіями, такими як доповнена реальність і прозорі дисплеї (Head-Up Display), що має потенціал змінити якість водіння [6].

## **ВИСНОВКИ**

У сфері автомобільних інновацій комп'ютерно-інтегровані дифракційні системи автомобільного освітлення приносять значні економічні переваги. Точне освітлення, зумовлене використанням ДОЕ, не тільки зменшує споживання енергії, але також мінімізує світлове розсіювання, забезпечуючи комфорт для водіїв зустрічного руху.

Подовжений термін служби транспортних засобів, обладнаних дифракційними оптичними елементами, безпосередньо означає економію, зменшуючи частоту замін і ремонтів. Це узгоджується з автомобільною тенденцією до стійкості та економічно ефективного обслуговування.

Крім того, підвищення безпеки завдяки точному освітленню сприяє зменшенню витрат, пов'язаних із нещасними випадками, сприяючи охороні здоров'я, страховим вимогам і екстреним службам. Виробники, які використовують цю інновацію, займають вигідну позицію на ринку, узгоджуючи

споживчі вподобання щодо розумних, ефективних і екологічних автомобілів.

Підсумовуючи, економічні переваги систем освітлення, оснащених дифракційними оптичними елементами, представляють значний зсув в автомобільній промисловості, прокладаючи шлях до економічно стійкішого та технологічно передового майбутнього.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] A. Rasouli, K. Iuliia and J. K. Tsotsos, «Agreeing to cross: how drivers and pedestrians communicate», in IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2017, pp. 264–269.
- [2] Васильковська І.О., Удосконалення методів проектування дифракційних лінз: монографія / І.О. Васильковська, В.Г. Колобродов, Г.С. Тимчик. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського // Вид-во «Політехніка», 2020. – 158с.
- [3] A. Habibovic, J. Andersson, V. M. Lundgren, M. Klingegård, K. Englund and S. Larsson, «External vehicle interfaces for communicating with other road users in Vehicle Automation», Vol. 5, Springer, 2019, pp. 91–102.
- [4] H. Kloppenburg, A. Wolff, and R. Lachmeier, “High-resolution vehicle headlights: Scanning technology and prototype,” Adv. Opt. tech., 2016, pp. 147–155.
- [5] W. Däschner, P. Long, M. Larsson and S. H. Lee, «Fabrication of diffractive optical elements using a single optical exposure with a gray level mask», J. Vac. Sci. technology B: Processing, Measurement and Phenomena of Microelectronics and Nanoscale Structures, Vol. 13, No. 6, 1995, p. 2729–2731.
- [6] G. P. Behrmann and M. T. Duignan, «Excimer laser micromachining for rapid fabrication of diffractive optical elements», Appl. Optics, Vol. 36, No.20, 1997, pp. 4666–4674.

*Наук. керівник – к.т.н., ас. Васильковська І.О.*



## **Секція 3.**

# **Ефективність автоматизованих виробничих систем і технологій приладобудування**

УДК 621.865.8

*Ю.О. Бубнов, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ**

*Анотація.* В статті показано, що підвищення ефективності приладобудівного виробництва можливо шляхом автоматизації виробничих процесів на основі широкого використання роботів-маніпуляторів. Виконано аналіз сучасних методів підвищення точності позиціонування роботів-маніпуляторів, наведено переваги та недоліки їх застосування. Вибрано метод розв'язання задачі підвищення ефективності використання роботів-маніпуляторів.

**Ключові слова:** Автоматизація виробництва, промислові роботи, позиціонування, методи підвищення точності, моделювання..

### **ВСТУП**

Сучасні технології приладобудування, методи та засоби їх реалізації в значній мірі базуються на досягненнях в області автоматизації. Автоматизація виробництва – застосування технічних засобів, економіко-математичних методів і систем керування, що вивільняють людину від функцій управління й залишають за людиною функції контролю та прийняття рішень. Автоматизація виробництва сприяє загальному технологічному прогресу суспільства й полягає у створенні можливостей для поліпшення умов і продуктивності праці, зростання якості продукції і, як результат, – підвищенню конкурентоспроможності продукції на ринку [1].

Використання промислових роботів-маніпуляторів у автоматизації є одним з її ключових аспектів, адже це дозволяє виконувати переважну кількість операцій, таких як переміщення заготовок, позиціонування оброблюваних деталей, складальні операції виробів різної складності тощо без прямого втручання людини на рівні фізичної взаємодії з об'єктом виробництва.

Згідно з цим задача підвищення точності позиціонування роботів-маніпуляторів не втрачає свою актуальність та є напрямком великої кількості досліджень в багатьох країнах світу. Нові методи підвищення точності дозволяють покращити результативність роботи роботів та оптимізувати технологічні процеси складання, оброблення, транспортування виробів тощо.

Тому в роботі поставлена задача виконати аналіз сучасних методів підвищення точності позиціонування роботів-маніпуляторів і на цій основі запропонувати і в подальшому реалізувати ефективний метод позиціонування при складанні виробів приладобудування.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

З метою реалізації поставленого завдання виконано аналіз методів підвищення точності позиціонування роботів-маніпуляторів.

Fei Chen у своїй роботі [2] вважає, що основним методом підвищення точності позиціонування є створення інноваційного захвату робота маніпулятора. Тут дизайн захвату оснований на копіюванні скорочувальної дії м'язів великого та вказівного пальців руки людини. Результатом дослідження є новітня модель захвату робота-маніпулятора, яка дозволяє переміщувати об'єкти відносно невеликого розміру з високою точністю, компенсуючи зовнішні сили,

що діють в процесі переміщення, та налаштування під точний розмір переміщуваних об'єктів.

До недоліків запропонованого методу роботи маніпулятора можна віднести відсутність алгоритму контролю процесу затискання, адже модель добре себе показала при роботі з тестовою вибіркою об'єктів, але не має потенціалу для адаптації під реальні виробничі умови та компенсацію похибок без розроблення відповідних алгоритмів.

По іншому підійшли до позиціонування роботів-маніпуляторів автори роботи [3] Josef Sulzer та Igor Kovac. Вони запропонували модуль точного позиціонування для промислових роботів типу SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Ідея цього методу підвищення точності полягає у спеціальній конструкції для оптичного контролю позиціонування захвату робота-маніпулятора, що включає мікроскоп з освітленням та програму дистанційного керування.

Запропонований метод дозволяє значно підвищити точність позиціонування, а сам робот може як виконувати заздалегідь задану програму, відштовхуючись від заздалегідь заданої опорної точки, так і адаптуватись до динамічних умов у реальному часі, адже система оптичного контролю може розпізнавати як опорну точку, так і центральну точку деталі, яка присутня у її базі даних.

Але даний метод також має декілька суттєвих недоліків, що не дозволяють йому стати універсальним способом підвищення точності позиціонування. По перше, цей метод дуже вартісний. Точна конструкція мікроскопа вимагає значних фінансових ресурсів, що робить метод неприйнятним для малих та більшості середніх виробництв. По друге, цей метод на даному етапі може застосовуватися лише на обмеженому переліку роботів-маніпуляторів, що відносяться до класу SCARA.

Подібний до попереднього є метод позиціонування, що запропонував В. Shirinzadeh [4]. Його ідея, що називається LISM (Laser interferometry-based sensing and measurement), полягає у використанні лазерної інтерферометрії для підвищення точності робота-маніпулятора у реальному часі, тобто, в процесі руху. Завдяки системі ретро-рефлекторів та мікропроцесорів автору вдалося реалізувати алгоритм специфікації траєкторії та генерації шляху переміщення робота. Добрим доповненням до роботи є створена система оцінки точності позиціонування, при використанні якої відкривається шлях до покращення системи позиціонування в майбутньому. Треба зазначити, що цей метод дозволяє досягти добрих результатів, адже абсолютна точність робота досягає  $\pm 0.1$  мм. Це є відмінним результатом, адже абсолютна точність стандартного для промислового робота-маніпулятора складає приблизно 2-20 мм.

Найбільшим недоліком цього методу є комплексність та велика складність імплементації. Для того щоб ефективно реалізувати метод на реальному виробництві необхідно не тільки забезпечити кожного робота власною системою лазерного керування на базі інтерферометрії, але і окремим контрольним терміналом для кожного робочого місця, що може виявитися неможливим, якщо це не враховували на початкових етапах виробництва.

Зовсім інший підхід позиціонування обрав Vin Xue [5]. Його метод базується на створенні системи вимірювання та позиціонування робочого місця як інтегрованої метрологічної системи. Це дозволяє зменшити абсолютну похибку робота-маніпулятора до значень 0.2 мм. У своїй роботі автор розкриває деталі та пояснює математичну модель роботи системи вимірювання. За допомогою передавачів та лазерних трекерів система відслідковує позицію робота у кожний момент часу, чим значно покращує його точність та орієнтацію у просторі.

До недоліків даного методу можна виділити необхідність проведення великої кількості розрахунків у кожний момент часу при відслідкуванні позиції робота та велику складність інтегрування системи в реальне виробництво.

## ВИСНОВКИ

Підвищення ефективності приладобудівного виробництва вимагає комплексної автоматизації виконуваних робіт з використанням роботів-маніпуляторів.

Застосування промислових роботів-маніпуляторів при автоматизації виробничих процесів дозволяє виконувати велику кількість операцій при виготовленні деталей та складання виробів без прямого втручання людини.

Задача підвищення точності позиціонування роботів-маніпуляторів не втрачає своєї актуальності та є важливим кроком у розвитку автоматизації виробництва.

В множині праць за даним напрямком досліджень надаються різні методи підвищення точності – створення нових захватів, використання лазерної інтерферометрії та нейронних мереж тощо. Кожен з них має свої переваги та недоліки і пропонує інноваційні шляхи для досягнення точності, що дозволить використовувати промислові роботи-маніпулятори при виконанні точних робіт, підвищуючи при цьому частку автоматизації, зменшуючи похибки, знижуючи кількість помилок та браку на виробництві.

Встановлено, що для розв'язання поставленої задачі підвищення точності позиціонування роботів-маніпуляторів доцільно використовувати методи моделювання руху руки робота-маніпулятора шляхом застосування генетичного алгоритму для автоматизованого визначення оптимальних гіперпараметрів штучної нейронної мережі, що найкраще моделює досліджуваний процес.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В.М. Глушков, Енциклопедія кібернетики : [у 2 т.] / В. М. Глушков (відп. ред) [та ін.] : — 1973. — 582 с.
- [2] Chen, F., Cannella, F., Canali, C., Hauptman, T., Sofia, G., & Caldwell, D. (2014). In-hand precise twisting and positioning by a novel dexterous robotic gripper for industrial high-speed assembly. In Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation (pp. 270–275). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2014.6906621>
- [3] Sulzer, J., & Kovač, I. (2010, April). Enhancement of positioning accuracy of

industrial robots with a reconfigurable fine-positioning module. Precision Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2009.06.006>

- [4] Shirinzadeh, B., Teoh, P. L., Tian, Y., Dalvand, M. M., Zhong, Y., & Liaw, H. C. (2010). Laser interferometry-based guidance methodology for high precision positioning of mechanisms and robots. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(1), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2009.04.002>
- [5] Xue, B., Zhu, J., Zhao, Z., Wu, J., Liu, Z., & Wang, Q. (2014). Validation and mathematical model of workspace Measuring and Positioning System as an integrated metrology system for improving industrial robot positioning. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 228(3), 422–440. <https://doi.org/10.1177/0954405413499901>.

***Наук. керівник – к.т.н., доц. Вислоух С.П.***

УДК 629.7.085

*Д.В. Буковська, аспірант гр. ПБ-331ф, д.т.н., проф. Антонюк В.С.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОСОБЛИВОСТІ ПУСКОВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

**Анотація.** Безпілотні літальні апарати являють собою високотехнологічну та наукомістку область і являються одним з перспективних напрямлень для розвитку приладобудування. Розглянуто основні види пускових установок для безпілотних літальних апаратів. Проаналізовано вітчизняні пускові для безпілотних літальних апаратів а також розподіл пускових по методу старту.

**Ключові слова:** пускові для безпілотних літальних апаратів, безпілотні літальні апарати, приладобудування, класифікація пускових для безпілотних літальних апаратів.

### ВСТУП

Виробництво безпілотних літальних апаратів в Україні перебуває на початковій стадії. Підвищений попит на виготовлення та модернізацію безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в військовій промисловості вимагає додаткових досліджень та впровадження нових технологій.

Для безпілотних літальних пристроїв важливим питанням є його запуск, для успішного запуску автономних літальних апаратів, як правило, необхідно забезпечити постійні параметри старту.

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Українські компанії активно займаються розробкою, впровадженням та виготовленням безпілотних літальних апаратів різних типів.

Для ураження військових цілей, таких як легкоброньовані і неброньовані машини або скупчення живої сили призначений дрон-камікадзе RAM II, запуск якого здійснюється з мобільної катапульти [1].

Стартовий механізм для RAM II відзначається своєю мобільністю у використанні, його можна встановлювати на землі, броньованому автомобілі або пікапі, час підготовки до старту дрона-камікадзе займає менше 10 хвилин.

Найпоширеніша модель безпілотного літального апарату тактичного рівня є «Лелека-1000», яка призначена для ведення розвідки. Запуск літального апарата здійснюється як вручну так і за допомогою катапульти [2].

Перевагами запуску з руки даної моделі є швидкість старту літального об'єкта, та відсутність потреби у використанні додаткових установок для запуску.

Одним з представників безпілотних літальних апаратів оперативно-тактичного рівня є PD-2. Основним призначенням даного комплексу є здійснення повітряної розвідки та бойове застосування. Запуск літального апарату здійснюється з літальної смуги [3].

Основним недоліком цього методу запуску є необхідність в облаштованому місці для старту безпілотника, що призводить до зменшення мобільності пускової установки.

## ВСТУП РЕЗУЛЬТАТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасні пускові механізми для безпілотних літальних апаратів являють собою механізми зі зовнішніми входами та одним ступенем свободи. Теорії і методам проектування подібних механізмів присвячена велика кількість досліджень [4].

Пускові механізми для безпілотних літальних апаратів мають виконувати основні функції: завдання встановленої швидкості та направлення польоту літальній одиниці.

Для старту безпілотних літальних апаратів існує декілька методів реалізації старту безпілотних літальних апаратів (Рис.1).



Рисунок 1. Методи старту безпілотних літальних апаратів.

Стартові механізми катапультного типу призначені для прискорення дрона до швидкості, необхідної для польоту. Основними перевагами даного методу є: швидкий запуск, відсутність потреби в злітній смугі, можливість запуску в місцях з обмеженим простором. Проте в даного методу існує ряд недоліків, таких як: обмежена вантажопідйомність та підвищені вимоги до конструкції, потребують розробки додаткових систем для стабілізації польоту після старту.

Запуск безпілотного апарату з руки не потребує додаткових установок або наявності злітної смуги, а також відрізняється своєю мобільністю і швидкістю запуску. Незважаючи на всі переваги даного методу основними недоліками є: обмеження в вазі та розмірах безпілотного апарату та потенційна небезпека для оператора.

Метод старту безпілотних літальних апаратів зі злітної смуги передбачає наявність платформи для прискорення дрону. За допомогою цього методу є можливість запускати великогабаритні вироби, що дозволяє збільшити вантажопідйомність та дальність польоту за рахунок збільшення об'ємів палива. Головними недоліками даного методу є потреба спеціального місця для запуску, а також збільшення часу на підготовку.

Вибір методу старту залежить від конкретних умов, цілей та характеристик виробу. Проте найбільш розповсюдженими є установки катапультного типу, так як вони відзначаються своєю мобільністю а також найбільш безпечні для оператора.

На основі аналізу механізмів для старту безпілотних літальних апаратів РАМ II та «Лелека-1000» встановлено, що пускові установки повинні відповідати основним вимогам:

- мобільність установки;
- масо-габаритні характеристики мають бути мінімальними;

- мінімальний час на підготовку до запуску;
- можливість застосування пускової повторно після запуску;
- не допускається попереднє спрацювання пускового механізму;
- пускова має бути придатна до ремонту після запуску літального об'єкта;
- не допускати травмування оператора в результаті пуску безпілотного літального апарата;
- працювати в різних кліматичних умовах безвідмовно та не спричиняти пошкоджень літального об'єкта.

Для ефективного та безпечного запуску дронів системи старту катапультного типу потребують засобів автоматизації.

Основні аспекти автоматизації повинні включати: сенсори та системи контролю для вимірювання параметрів (швидкість та напрямок вітру, температура навколишнього середовища, тиск), вузли для контролювання кута та сили запуску, системи безпеки.

## **ВИСНОВКИ**

Встановлено, що автоматизація процесу старту безпілотних літальних апаратів призведе до збільшення ресурсу пускової установки і зниження вимог до проектування складових частин літального об'єкта, які приймають навантаження при старті.

Для забезпечення відповідності пускових установок основним вимогам щодо конструкції потрібно використовувати спеціалізовані системи керування, які автоматично налаштовують параметри запуску на основі зібраних даних.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] RAM II UAS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://spetstechnoexport.com/uk/product/ram-ii-uas>.
- [2] Лелека (Ciconia) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://deviro.ua/ukr/ciconiavtol>.
- [3] PD-2 VTOL fixed-wing UAS main features [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ukrspecsystems.com/drones/pd-2-uas>.
- [4] Малогабаритні безпілотні літальні апарати: теорія та практика / Рендал У. Біард, Тімоті У. Маклейн - Київ: Вид. будинок «СВАРОГ», 2023. - 312 с.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Антонюк В.С.*



УДК 621.311

О.М. Буковський, аспірант гр. ПБ-з31ф, к.т.н., доц. Вислоух С.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІЖБЛОКОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ

**Анотація.** Виконано аналіз використовуваних методів контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань, вказано їх особливості та недоліки. Надано обґрунтування розробки автоматизованої системи контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань на основі адаптивних алгоритмів. Приведено структурну схему системи та її основні складові. Наголошено на перспективності приведеної автоматизованої системи та подальшого її вдосконалення.

**Ключові слова:** Міжблокові електричні з'єднання, контроль параметрів, імпульсні та комбіновані методи контролю, безперервні методи контролю, автоматизована система контролю.

### ВСТУП

Оскільки всі методи контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань ґрунтуються на вимірюванні струмів і напруг, найбільш загальною класифікаційною ознакою можна назвати ступінь їх автоматизації [1]. У відповідності з цією ознакою всі методи контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань можна розділити на ручні і автоматизовані. Подібний поділ характеризує не тільки частку участі людини у вимірювальному процесі, а й засоби, за допомогою яких можуть проводитися вимірювання.

### МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає в підвищенні продуктивності виробництва кабельно-провідникової продукції шляхом розроблення та впровадження системи контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань, яка базується на застосуванні адаптивних алгоритмів здатних динамічно змінюватись відповідно до характеристик конкретних виробів та умов виробництва.

### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз конструктивно-технологічних характеристик і перспектив розвитку конструктивних модулів систем контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань показав, що комплексне рішення задач їх проектування і виробництва можливо тільки на основі розробки і впровадження методів і засобів математичного синтезу [2]. Однак системному дослідженню і розробці цієї актуальної задачі не приділялося достатньої уваги, що підтверджується малою кількістю публікацій за даною тематикою, тому дане дослідження присвячене автоматизації процесу контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань на основі адаптивних алгоритмів.

В автоматизованих системах контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань виконання деяких трудомістких операцій (таких як подача вимірювальних впливів, реєстрація відгуків тощо) здійснюється автоматично за допомогою спеціальних апаратних засобів. В якості апаратних засобів, що дозволяють автоматизувати процес вимірювання параметрів міжблокових електричних з'єднань, використовують різні прилади і пристрої. Такими пристроями можуть бути осцилографи, різні приставки, що дозволяють

розширювати їх функціональні можливості, а також спеціалізовані комп'ютерні системи, в яких управління процесом вимірювання параметрів міжблокових електричних з'єднань і обробку зареєстрованих даних здійснює мікроконтролер або персональний комп'ютер [2]. Застосування мікропроцесорної техніки дозволяє різнобічно обробляти дані, отримані в процесі вимірювань параметрів міжблокових електричних з'єднань, не піддаючи прилад безперервним електричним впливам. Завдяки програмно-керованим апаратним засобам такі вимірювальні системи, як правило, характеризуються високою швидкістю і точністю.

Автоматизовані системи реалізуються різними вимірювальними системами, можливості яких обмежені тільки можливостями елементної бази їх апаратних засобів. Однак ефективність цих систем значною мірою залежить від характеру вимірювальних впливів, що подаються в процесі вимірювання параметрів міжблокових електричних з'єднань. Тому другою і найбільш важливою класифікаційною ознакою є характер подаваних впливів, за якими всі методи контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань можна розділити на безперервні, імпульсні та комбіновані [2].

Безперервні методи при вимірюванні параметрів міжблокових електричних з'єднань спрацьовують безперервно із поступово змінюваною амплітудою. Основний недолік безперервних методів вимірювання параметрів міжблокових електричних з'єднань полягає в тому, що в процесі вимірювання через досліджуваний прилад постійно протікає струм, причому амплітуда його може весь час збільшуватися. Це призводить до накопичення тепла в структурі тестованого приладу, що викликає спотворення результатів контролю і виникнення методичної похибки [3].

При використанні імпульсних методів вимірювання проводиться шляхом реєстрації відгуку тестованого приладу під час дії кожного імпульсу. Крім тривалості імпульсу ефективність процесу вимірювання параметрів міжблокових електричних з'єднань імпульсним методом також залежить від тривалості паузи, оскільки вона безпосередньо впливає на тривалість всього процесу вимірювання і на величину саморозігріву приладу.

Таким чином, з точки зору зниження саморозігріву приладу імпульсні методи дозволяють здійснювати вимірювання параметрів міжблокових електричних з'єднань більш ефективно ніж безперервні, особливо при використанні швидкодіючих комп'ютеризованих вимірювальних систем.

В комбінованих методах при вимірюванні параметрів міжблокових електричних з'єднань на прилад подається послідовність вимірювальних імпульсів різної амплітуди, причому хоча б на один з електродів подається безперервний у часі сигнал [4].

З точки зору впливу на саморозігрів досліджуваного приладу комбіновані методи вимірювання параметрів міжблокових електричних з'єднань займають проміжне місце між безперервними і імпульсними, оскільки процес вимірювання здійснюється при температурі, яка визначається величиною постійної складової впливаючого сигналу. Подібно імпульсним, ефективність комбінованих методів вимірювання істотно залежить від вибору параметрів вимірювальної імпульсної

послідовності, а також ступеня їх відповідності індивідуальним властивостям досліджуваного приладу. Перевага методів з математичною обробкою результатів вимірювань полягає в тому, що застосування математичного апарату в деяких випадках дозволяє компенсувати похибки вимірювань і підвищити достовірність результатів без використання дорогих прецизійних апаратних засобів. Як правило, такі методи вимірювання реалізуються із застосуванням комп'ютеризованих вимірювальних систем.

За результатами аналізу стану контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань поставлена задача створення системи, що розв'язує ці задачі в автоматизованому режимі.

Пропонується автоматизована система контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань на основі адаптивних алгоритмів, що ґрунтується на використанні комбінованого методу з математичним обробленням результатів вимірювань. Загальна структурна схема системи контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань представлена на рис. 1.

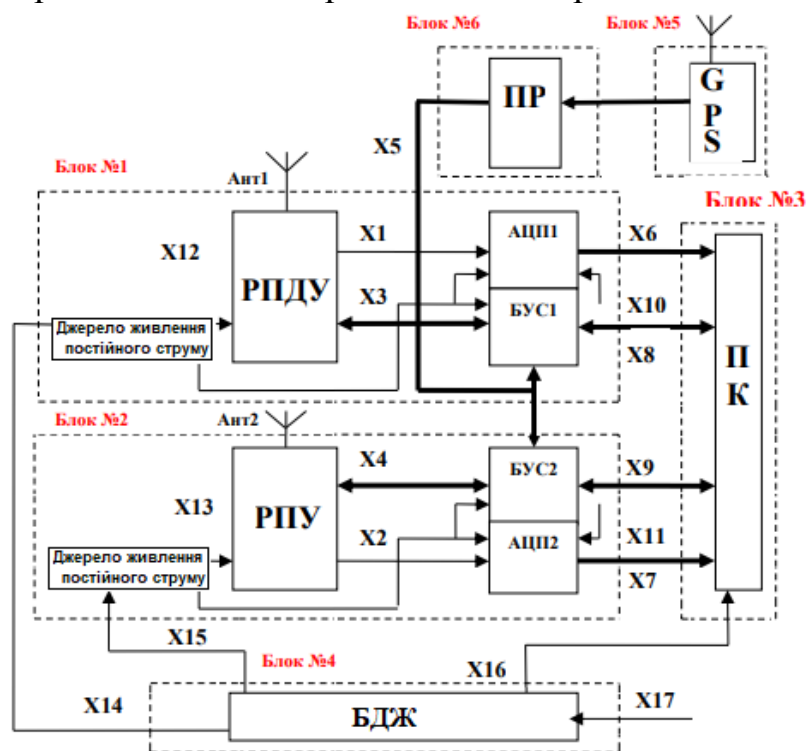


Рисунок 1. Загальна структурна схема системи контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань

Структурна схема системи автоматизованого контролю побудована за модульним принципом і складається з сукупності взаємопов'язаних блоків.

Перший приймально-передавальний канал (Блок № 1) включає модернізований трансивер, блок живлення, аналого-цифровий перетворювач (АЦП1), блок управління і синтезу (БУС1), до складу якого входить субблок програмно-керованого цифрового синтезатора, мікропроцесорний субблок управління і субблок високостабільного опорного генератора.

Другий приймальний канал (Блок № 2) складається з модернізованого приймача, адаптера змінного струму, аналого-цифрового перетворювача (АЦП2), блока управління і синтезу (БУС2), що включає субблоки програмно-

керованого цифрового синтезатора, мікропроцесорного управління і високостабільного опорного генератора.

До складу автоматизованої системи також входить персональний комп'ютер (Блок №3), джерело безперебійного живлення (Блок № 4), GPS приймач (Блок № 5) і перетворювач (Блок №6).

Процес контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань передбачає використання спеціалізованого програмного забезпечення, яке реалізується із застосуванням адаптивних алгоритмів, що забезпечить можливість аналізу та контролю характеристик кабельно-провідникової продукції у режимі реального часу.

## ВИСНОВКИ

В результаті аналізу методів контролю параметрів міжблокових електричних з'єднань встановлено їх недоліки та особливості використання. Обґрунтована необхідність розроблення відповідної автоматизованої системи контролю на основі використання адаптивних алгоритмів.

В роботі запропонована структурна схема автоматизованої системи, що має модульний принцип побудови. Це дозволяє виконувати подальше її вдосконалення в напрямках передових технологій електронних комплектуючих виробів, адаптивного зменшення перешкод і корекції спотворень в радіоканалі, а також вдосконалення потоків управління каналами передачі даних. Розробки в двох перших напрямках забезпечать підвищення надійності роботи і обробки сигналів, а досягнення в третьому напрямку, що має виняткову важливість для мережі, надають їй додаткову гнучкість і живучість.

Використання автоматизованої системи контролю параметрів дозволить підвищити продуктивність процесу виготовлення електронних виробів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] ДНАОП 0.00–2.32–2001 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
- [2] Бондаренко І. М. Сучасна компонентна база електронних систем : навч. посіб. / І. М. Бондаренко, О. В. Бородін, В. П. Карнаушенко. – Х.: ХНУРЕ, 2020. – 268 с.
- [3] Невлюдов, В.А. Контроль якості електричних міжз'єднань гнучких структур / В.А. Невлюдов, Н.П. Демська, Є.А. Разумов-Фризюк, С.П. Новоселов // *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил.* — 2020. — № 1. — С. 103-112.
- [4] Bulatov Yu. N., Kryukov A. V. Optimization of automatic regulator settings of the distributed generation plants on the basis of genetic algorithm. *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE Conference Publications.* 2016. P. 1–6.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Вислоух С.П.*

УДК 57.087.2

Є.О. Бурковський, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н., доц. Безугла Н.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ

**Анотація.** В даній роботі розглянуто особливості обробки сигналу фотоплетизмограми. Запропоновано алгоритм обробки сигналу. Розроблено інтерфейс програмного забезпечення. Розраховано основні параметри фотоплетизмограми з сигналу, отриманого на серійному приладі “UtasOxi 200”.

**Ключові слова:** фотоплетизмограма, аналіз сигналу, обробка даних, візуалізація, програмне забезпечення.

### ВСТУП

В попередніх роботах [1][2] було проведено експериментальні дослідження сигналу фотоплетизмограми (ФПГ) за допомогою серійного приладу “UtasOxi 200”. Отримані результати дослідження показали, що фізіологічний стан пацієнта та навколишнього середовища мають значний вплив на показники ФПГ. Навіть при незначних змінах зовнішніх чинників, наприклад зміна температури на декілька градусів, або вживання пацієнтом їжі, призводить до значних змін значень стандартного відхилення між інтервалами серцевих скорочень (23.19%).

При проведенні експерименту довелося виконувати велику кількість одноманітних ітерацій зі складними математичними розрахунками. Після чого вручну заповнювати таблиці параметрів та візуалізувати отримані показники за допомогою засобів *Excel*.

Головною метою даної роботи є автоматизація розрахунку параметрів ФПГ шляхом розробки зручного програмного забезпечення з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, який дозволить легко взаємодіяти з системою файлів вимірювань та аналізувати отримані результати.

### ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Вибір технологій для розробки програмного забезпечення (ПЗ) є важливим аспектом в розробці. В даному випадку мовою програмування було обрано ООП мову програмування *Python*. Вона є досить легкою у використанні та має велику кількість бібліотек, які надають безліч зручних оптимізованих рішень для легкої обробки великої кількості даних та подальшої взаємодії з ними.

При проведенні досліджень на приладі “UtasOxi 200” сигнал ФПГ записується у вигляді файлу у форматі *.xlsx*. Для завантаження, парсингу та збереження даних у форматі *.xlsx* було обрано наступні бібліотеки: *xlrd*, *openpyxl*. Ці бібліотеки надають зручне API (Application Programming Interface) для роботи з файловою системою [3]. Для зручної взаємодії з великим об’ємом даних обрано бібліотеку *pandas*. Ця бібліотека є доволі популярною та дозволяє створювати датафрейми, які в свою чергу є оптимізованими структурами даних та їх легко використовувати для подальших розрахунків. Для візуалізації отриманих результатів використовується бібліотека *matplotlib*. Математичні розрахунки та робота з великою кількістю даних без використання складних та

неоптимізованих циклів виконується з допомогою numpy [4]. Для створення зручного та адаптивного інтерфейсу обрано бібліотеку PyQt5. Ця технологія надає зручне API та дозволяє створити інтерфейс який відповідає UI/UX парадигмам [5]. Бібліотекою для розрахунку основних параметрів фотоплетизмограми обрано HeartPy. Це найбільш відома та зручна бібліотека для взаємодії з сигналами серцевого ритму [6].

## ЗАГАЛЬНА СХЕМА РОБОТИ ПРОГРАМИ

На основі поставленої мети та обраних бібліотек запропоновано наступну схему роботи програмного забезпечення для розрахунку параметрів ФПГ (рис.1).

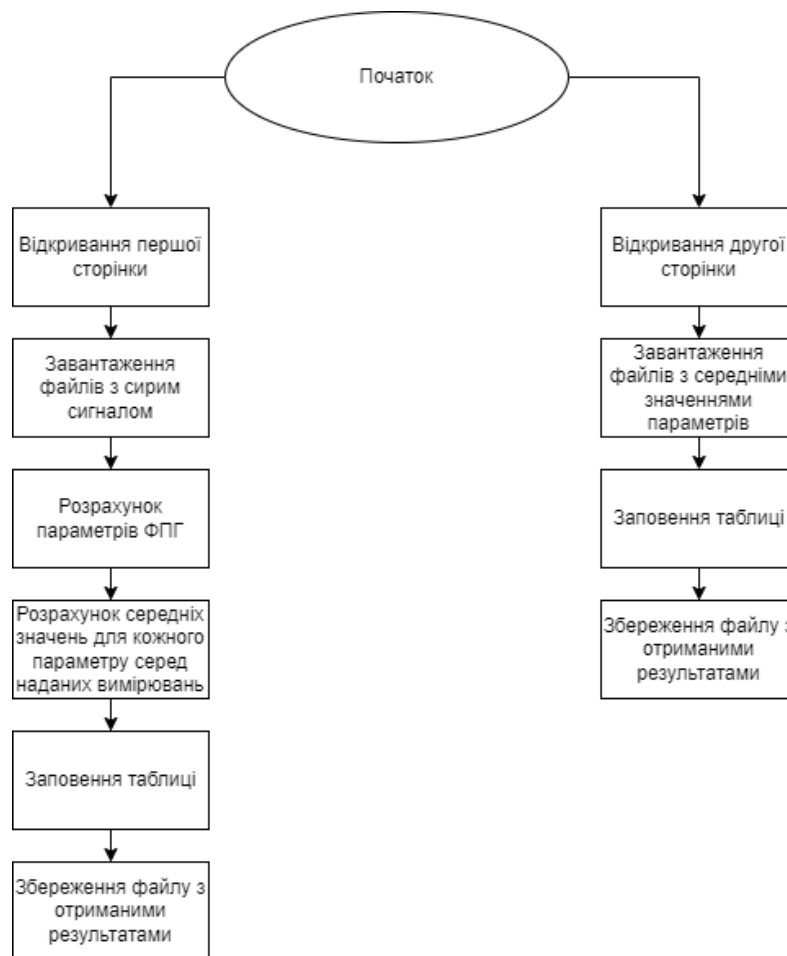


Рис. 1 Схема роботи інтерфейсу ПЗ.

### Алгоритм для першої сторінки

Після переходу на першу сторінку користувач завантажує файли з сигналом ФПГ у форматі .xlsx. Далі відбувається розрахунок основних параметрів ФПГ для кожного дослідження, після чого вираховується середнє значення для кожного параметру і формується об'єкт у форматі "ключ-значення". Після заповнення таблиці у користувача є змога зберегти отриманий файл у форматі .xlsx.

Друга сторінка має схожий функціонал, проте тут відбувається лише виведення середніх значень для різного стану пацієнта розрахованих на попередній сторінці в таблицю, після чого відбувається збереження файлу.

## ІНТЕРФЕЙС АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ

На основі запропонованого алгоритму роботи розроблено функціональний інтерфейс програмного забезпечення. Він складається з двох сторінок.

Інтерфейс першої сторінки зображено на рисунку 2.

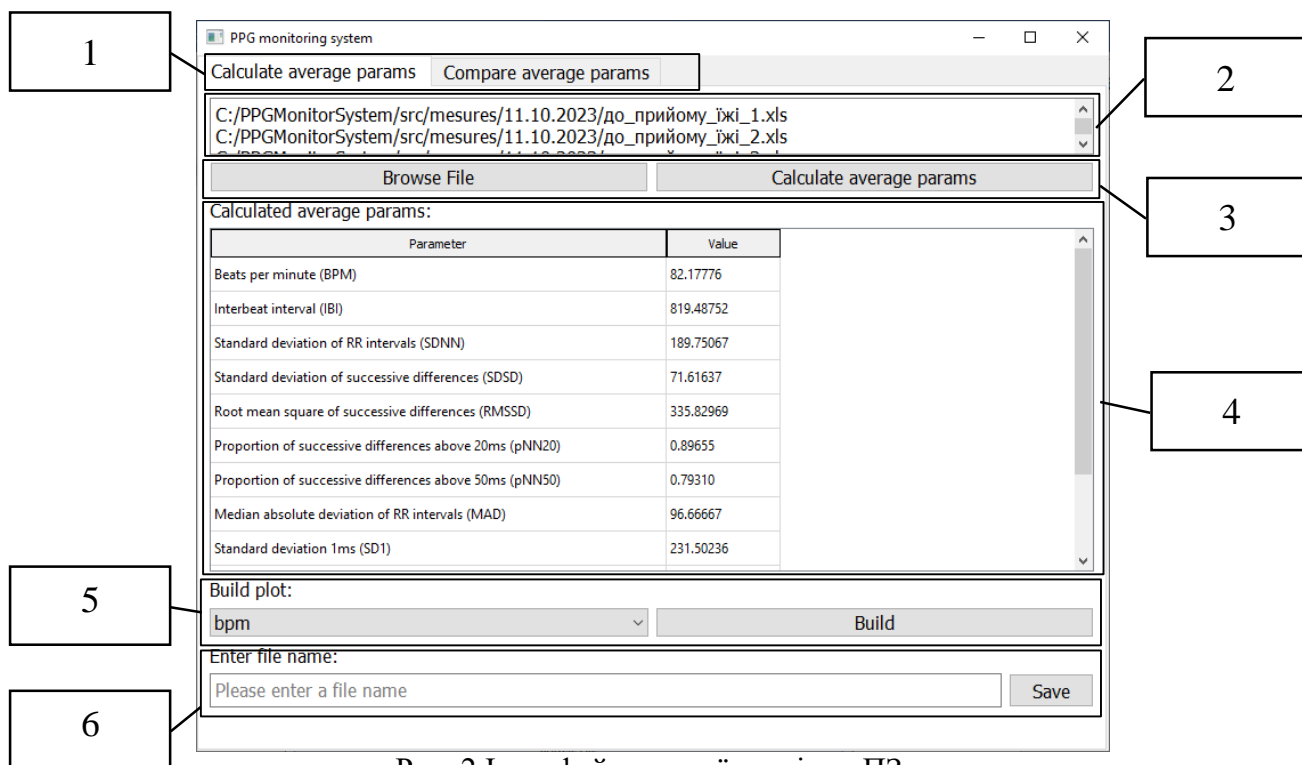


Рис. 2 Інтерфейс першої сторінки ПЗ.

Область 1 кнопки для переключення між сторінками інтерфейсу.

Область 2 вікно зі списком завантажених файлів.

Область 3 кнопка для старту завантаження файлів та кнопка для початку процесу розрахунку параметрів сигналу.

Область 4 таблиця з розрахованими середніми значеннями ФПГ сигналу.

Область 5 секція для побудови графіку. Лівий випадаючий список дозволяє користувачу обрати параметр для якого буде побудований графік сигналу. При натисканні на кнопку яка розташована праворуч відбувається побудова графіку.

Область 6 секція, яка надає функціонал збереження файлу. В полі вводу ліворуч користувач має змогу ввести назву файлу та зберегти його з допомогою кнопки праворуч. Якщо файл з такою назвою вже існує, то користувач побачить повідомлення про помилку.

На рисунку 3 зображено інтерфейс другої сторінки інтерфейсу ПЗ.

Область 1 Область для завантаження файлу

Область 2 Таблиця з середніми значеннями сигналу ФПГ для різних фізіологічних станів.

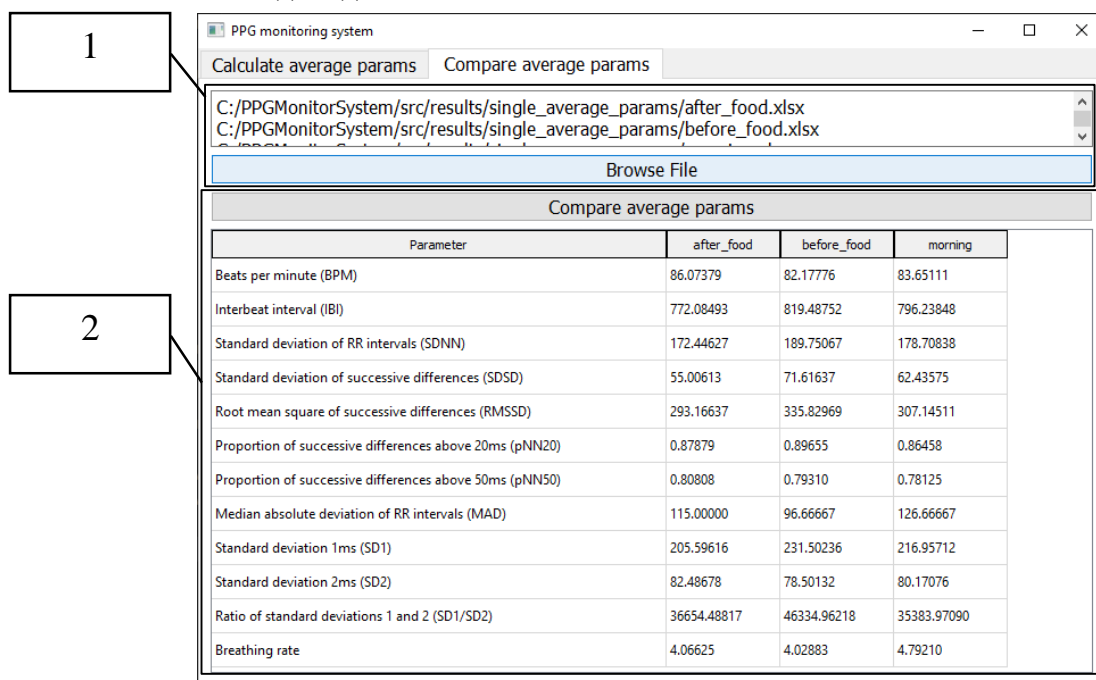


Рис. 3 Інтерфейс другої сторінки ПЗ.

## ВИСНОВОК

В даній роботі розроблено програмне забезпечення, що дозволить легко, зручно та швидко аналізувати сигнал фотоплетизмограми, проводити розрахунки основних параметрів та візуалізувати результати.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Е.О. Бурковський, "Проблематика виділення сигналу фотоплетизмограми для біометричної аутентифікації", в "XVIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та Автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні»", ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.
- [2] І.О. Яковенко, К.П. Вонсевич, І.Є. Гребень "Метод виділення ітерацій пульсових хвиль фотоплетизмограми для біометричної ідентифікації", Наукові вісті КПІ : міжнародний науковотехнічний журнал, No 3(2020), С. 73–78, 2020. DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.209881
- [3] "xlrd - Excel Spreadsheet Reader in Python." [Online]. Available: <https://xlrd.readthedocs.io/en/latest/>. Accessed on: [12.06.2023].
- [4] "NumPy - The fundamental package for scientific computing with Python." [Online]. Available: <https://numpy.org/>. Accessed on: [12.06.2023].
- [5] "PyQt - Riverbank Computing" [Online]. Available: <https://www.riverbankcomputing.com/software/pyqt/>. Accessed on: [12.06.2023].
- [6] "HeartPy - Python Heart Rate Analysis" [Online]. Available: <https://python-heart-rate-analysis-toolkit.readthedocs.io/en/latest/>. Accessed on: [12.06.2023]. [0]



УДК 004.896

С. В. Васильченко, студент гр. ПБ-31мп, к. т. н., доц. Шевченко В. В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ДЛЯ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ

**Анотація.** В роботі представлено автоматизовану систему контролю та керування параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні з використанням технологій IoT. Розроблена принципова схема та блок-схема автоматизованої системи контролю та керування параметрів мікроклімату. Розроблена система забезпечує контроль параметрів віддалено в режимі реального часу, а також забезпечує аналіз даних за великий проміжок часу

**Ключові слова:** автоматизована система контролю та керування, мікроклімат, інтернет-речей, виробниче приміщення

### ВСТУП

Розумне управління мікрокліматом у виробничому приміщенні повинно забезпечувати дотримання оптимальної температури та вологості. Однією з альтернатив є Інтернет речей із використанням системи охолодження. Очікується, що розвиток сучасних інформаційних технологій допоможе подолати деякі проблеми з умовами мікроклімату в виробничих приміщеннях, де відбувається технологічний процес складання, що забезпечить точність складання приладів[2]. Очікується, що застосування Інтернету речей (IoT) у виробничих приміщеннях з використанням системи охолодження може змінити екстремальні температури та вологість на оптимальний потенціал для забезпечення правильної температури [3].

Виробництво, при сприятливому сталому мікрокліматі реалізує максимальну продуктивність навіть за потреби в різноманітних умовах середовища. Інтернет речей (IoT) є одним із ключових елементів у розвитку цих технологій. Використання Інтернету речей може створити інтелектуальну технологію, що дозволить забезпечити точність складання приладів. Застосування IoT в системі керування може контролювати та керувати мікрокліматом, таким як температура, вологість, і в режимі реального часу оператори можуть дистанційно керувати виробничим процесом.

Система автоматизації виробничого приміщення — це технічний підхід, за допомогою якого автоматичний моніторинг і контроль середовища розумної системи принесе користь розробникам, та дозволить забезпечити точність складання приладів.

### МЕТОДИКА ВИМІРЮВАНЬ

Дослідження спрямоване на розробку технології застосування Інтернету речей із використанням керування мікрокліматом за допомогою охолодження, який регулює температуру та вологість в виробничому приміщенні, де відбувається технологічний процес складання, що дозволить забезпечити точність складання приладів.

Апаратне забезпечення, яке було використане в системі: мікрокомп'ютер Raspberry Pi, чутник SHT11 DHT22, цифрові чутники для вимірювання температури повітря та відносної вологості, MQ135 – чутник, який

використовується для визначення складу повітря, система кондиціонування, теплообмінна система, зволожувач, осушувач, реле, електронні компоненти.

Програмне забезпечення, яке використовувалося: Raspberry Pi OS [4], Python 3 [5], мова програмування, яка використовується для керування апаратним забезпеченням, отримання даних із датчиків і керування базою даних, PHP, мова веб-програмування, яка використовується для відображення всієї інформації в базі даних, MariaDB, програма бази даних для зберігання даних, отриманих за допомогою Python 3, Putty, вільно розповсюджуваний клієнт для протоколів SSH, Telnet, rlogin і чистого TCP., який використовується для доступу до ОС Raspberry Pi за допомогою ОС Windows, яка використовується для передачі файлів в ОС Raspberry Pi. Блок-схема автоматизованої системи приведена на рис. 1.

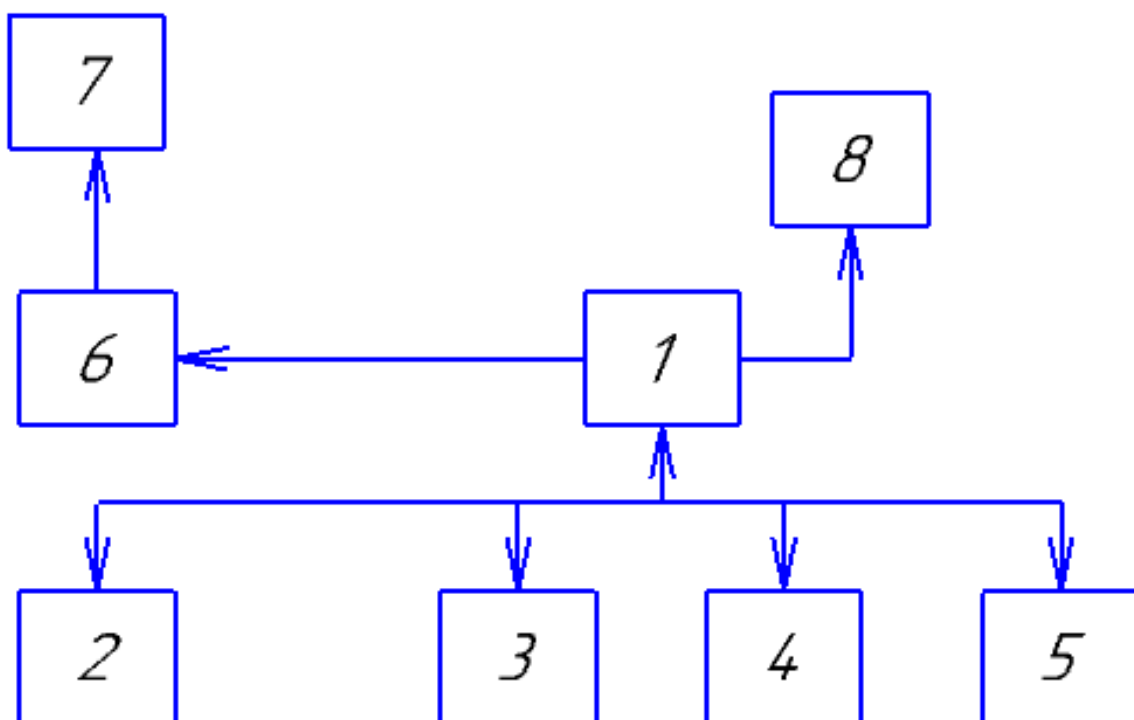


Рисунок 1. Блок-схема автоматизованої системи контролю та керування мікроклімату виробничого приміщення

Система контролю та керування 1 отримує дані від чутників температури, вологості 2, та проводить керування розпилювачем 3, насосом кондиціонувальної установки 4 та системою вентиляції 5. Усі отримані дані в режимі реального часу передаються в хмарне середовище 6, а звідти на мобільні пристрої (телефони) 7 усім необхідним операторам. Також отримані дані виводяться на локальний дисплей 8. Графічний інтерфейс роботи системи приведено на рис. 2 та 3.



Рисунок 2. Вікно програми на мобільному пристрої для відстежування та керування параметрами виробничого приміщення.

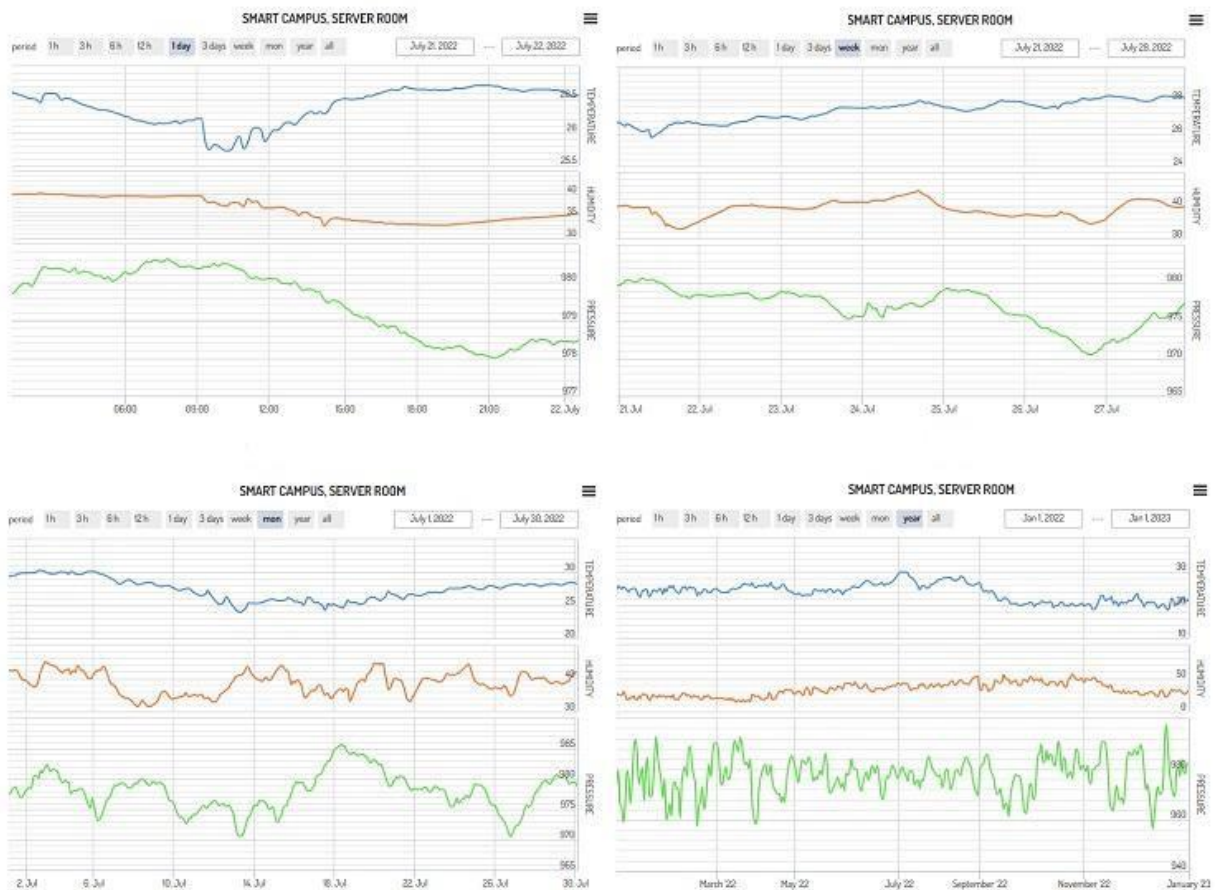


Рисунок 3. Температурні залежності зміни температури у виробничому приміщенні

## ВИСНОВКИ

Розроблено автоматизовану систему контролю та керування параметрів мікроклімату виробничого приміщення. Впровадження такої системи у виробництво дозволить проводити контроль та керування параметрами, що забезпечують точність складання приладів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Redmond R.. Measuring optimality degrees of microclimate parameters in protected cultivation of tomato under tropical climate condition. Measurement. Volume 106, August 2017. P. 236-244. . Режим доступу : [https://www.researchgate.net/publication/313891650\\_Measuring\\_Optimality\\_degrees\\_of\\_Microclimate\\_Parameters\\_in\\_Protected\\_Cultivation\\_of\\_Tomato\\_under\\_Tropical\\_Climate\\_Condition](https://www.researchgate.net/publication/313891650_Measuring_Optimality_degrees_of_Microclimate_Parameters_in_Protected_Cultivation_of_Tomato_under_Tropical_Climate_Condition).
- [2] Hassan I., Norhan A., Hassan H. A layered IoT architecture for greenhouse monitoring and remote control. SN Appl. Sci. 1(3), 2019, p. 223. Режим доступу : <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-019-0227-8>.
- [3] Dan Jeric Arcega, Chien Erh Lin, Jui-Yung Chung. Application of an image and environmental sensor network for automated greenhouse insect pest monitoring. Journal of Asia-Pacific Entomology. Volume 23. Issue 1, April 2020. P. 17-28. Режим доступу : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226861519304716>.
- [4] Raspberry Pi OS. URL : <https://www.raspberrypi.com/software/>
- [5] Active Python Releases. URL : <https://www.python.org/downloads/>

***Науковий керівник: к.т.н, доц. Шевченко В.В.***

УДК 004.9:624.9

*Р.О. Воронков, аспірант гр. ПБ-31ф, д.т.н, проф. Безуглий М.О.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ СКЛАДУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БЕЗПЛОТНИМИ ЗАСОБАМИ**

**Анотація** Дана робота присвячена розробці та впровадженню системи виявлення складу будівельних конструкцій на пересувному модулі з метою стратегічного управління ресурсами та забезпечення сталості в будівельній галузі. Основна мета полягає в розробці блок-схеми системи віддаленого виявлення складу будівельних конструкцій. Розроблена система передбачає використання сенсори для збору та передачі даних, а також програмного забезпечення, що надає інформацію для подальшої обробки та візуалізації. Обробка отриманих даних виконується на підставі накладання координати, відстані та інтенсивності інфрачервоного світла на кольорове зображення.

**Ключові слова:** будівельні конструкції, відповідальне споживання, розпізнавання образів, обробка зображень оптичні технології.

### **ВСТУП**

Дана робота освітлює розроблення системи виявлення складу будівельних конструкцій розташованого на пересувному модулі, яка спрямована на забезпечення стратегічного підходу до управління ресурсами та забезпеченням сталості в будівельній галузі. Головною метою є ефективне визначення типу та об'єму матеріалів, придатних для повторного використання та переробки. Такий підхід визначає формування замкнутого циклу використання ресурсів, сприяючи при цьому значному зменшенню кількості відходів у будівельній сфері.

Зокрема, розглядається важливість впровадження технологій виявлення складу будівельних конструкцій у контексті сталого розвитку [1]. Визначається, що дана система не лише забезпечує відокремлення матеріалів для подальшої переробки, але й сприяє створенню нових економічних можливостей. Розпізнавання та використання матеріалів у будівельних конструкціях дозволяє підприємствам зменшувати витрати на закупівлю нових ресурсів, стимулюючи вторинний ринок та сприяючи ефективному управлінню витратами на утилізацію відходів. Такий підхід не тільки зберігає ресурси, але і сприяє сталому розвитку та створенню економічних переваг для підприємств будівельної галузі.

### **МЕТА РОБОТИ**

Розробка системи виявлення складу будівельних конструкцій, розташованої на пересувному модулі, з урахуванням стратегічного підходу до управління ресурсами та забезпечення відповідального споживання у будівельній галузі. Забезпечення ефективного визначення типу та об'єму будівельних матеріалів, які можна використовувати повторно та переробляти.

Здійснюючи аналіз важливості впровадження технологій виявлення складу будівельних конструкцій у контексті відповідального споживання [2], робота націлюється на розпізнавання окремих матеріалів з яких складається будівельна конструкція для подальшої переробки, що створює економічну релевантність. Розпізнавання та використання матеріалів у будівельних конструкціях має потенціал допомагати підприємствам зменшувати витрати на нові ресурси, стимулюючи вторинний ринок і сприяючи ефективному управлінню витратами на утилізацію відходів.

## МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Система віддаленого виявлення складу будівельних конструкцій розташованого на пересувному модулі використовуються для отримання даних з високої точності та великої області покриття. Дана система дозволяє пришвидшити оцінку складу будівельних конструкцій зменшивши час, який витрачають оцінювачі будівель на визначення характеристики матеріалів та складу конструкцій.

Відповідно до мети дана система використовуватиме цифрові методи та технології для прискорення ідентифікації характеристик, кількостей та типу матеріалів, будівель перед їх знесенням та реконструкцією.

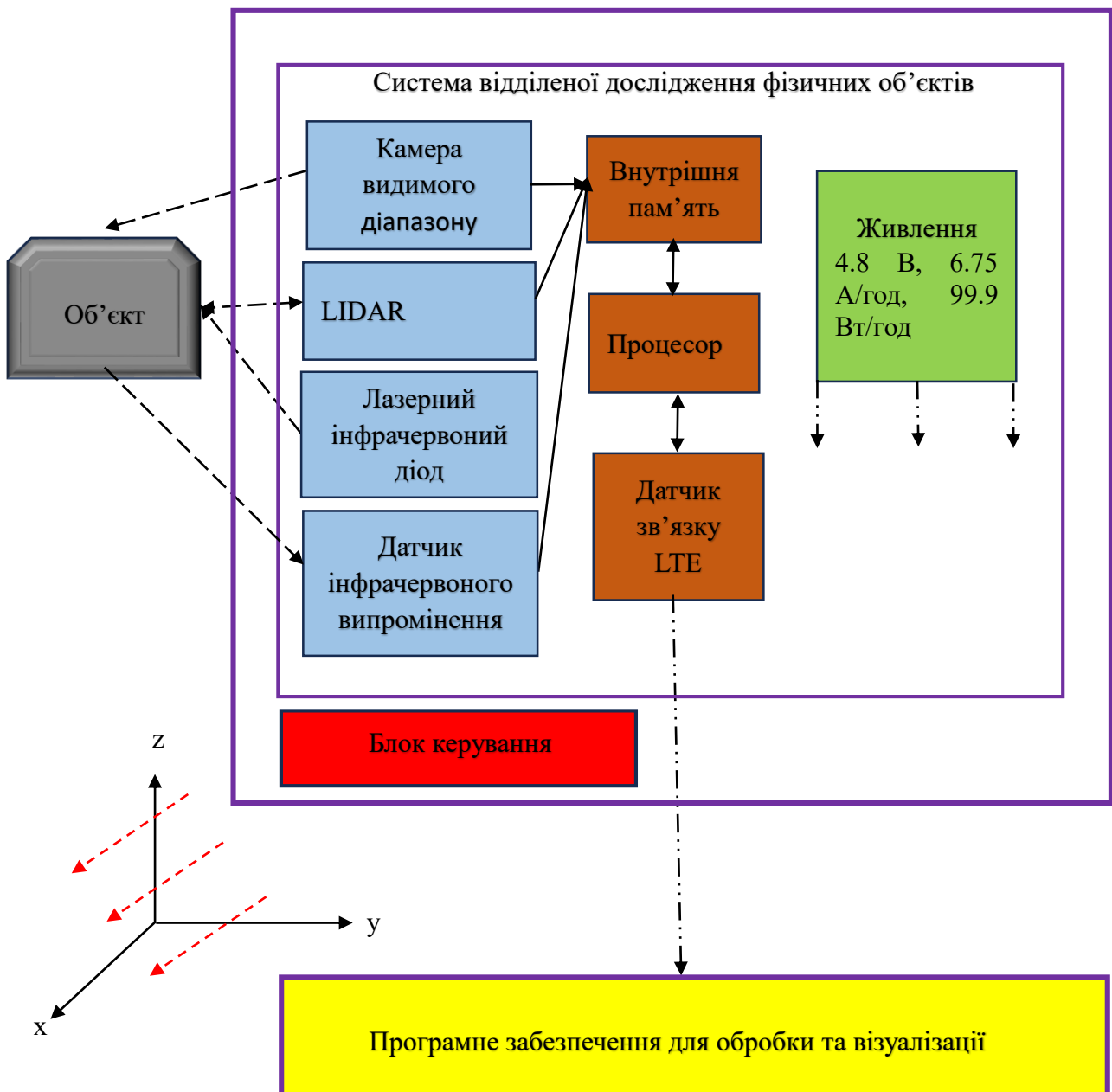


Рисунок 1. Блок-схема системи віддаленого виявлення складу будівельних конструкцій

У представленій системі, що зображена на рисунок 1 використовуються сенсори які отримують та передають дані, що дозволяють програмному забезпеченню надавати необхідну інформацію для подальшої обробки та візуалізації. Таким чином у системі використовується камера видимого діапазону, що отримує кольорове зображення будівлі на яке накладаються отримані дані з LIDAR [2] у вигляді координат точок та їх відстань та інтенсивність інфрачервоного світла відбитого від лазерного інфрачервоного діоду та отриманого датчиком інфрачервоного випромінення. В результаті ми отримуємо інформативне зображення яке дозволяє його подальшу обробку для дослідження на склад конструкцій самої будівлі та оцінку кількості матеріалу з якої вона складається.

Сама система розташована на пересувному модулі, що забезпечує мобільність даної технології. Пересувний модуль представлений на схемі включає блок керування, що складається з інерційного вимірювального пристрою, процесору керування який обробляє дані від ІВП та приймає рішення щодо управління моторами та електронними регуляторами руху для пересування пристрою у просторі, стабілізації та керуванню швидкістю обертання моторів. Також пристрій включає в себе блок зв'язку що обладнано приймачем та бездротовим модулем для приймання та забезпечення зв'язка з зовнішніми пристроями, такими як комп'ютер, смартфон або пульт керування. Живлення забезпечується акумулятором та регулятором напруги для забезпечення стабільної напруги для електронних компонентів.

Обробка отриманих даних виконується у програмному забезпеченні[3] в якому виконується накладання координат, відстані та інтенсивності інфрачервоного світла на кольорове зображення, далі виконується розпізнавання зображення та оцінка складу будівельних конструкцій. В результаті ми отримуємо точну візуалізацію з визначеним типом поверхні об'єкту та кількісну оцінку складу будівельної конструкції.

## **ВИСНОВКИ**

У контексті розвитку сучасних технологій та стрімкого росту будівельної індустрії, представлена система виявлення складу будівельних конструкцій представляє значний внесок у стратегічне управління ресурсами та забезпечення відповідального споживання в галузі. Виявлення та використання будівельних матеріалів дозволяє збільшити ефективність управління витратами та стимулює вторинний ринок, сприяючи економічному розвитку підприємств.

Система також демонструє великий потенціал у відповідальному споживанні у будівельній галузі. Розпізнавання окремих матеріалів та їх відокремлення для подальшої переробки є ключовим елементом в стратегії відповідального використання ресурсів. Це дозволяє підприємствам зменшувати витрати на нові ресурси та ефективно управляти витратами на утилізацію відходів, сприяючи тим самим збереженню природних ресурсів та сталому розвитку галузі.

Окрім того, система має широкі перспективи впровадження в інші галузі, де ефективне управління ресурсами та відповідальне споживання стає дедалі

важливішими аспектами. Здобуті результати відкривають нові можливості для підприємств у забезпеченні сталості своєї діяльності та внесенні позитивного вкладу в екологічну стійкість суспільства.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Адаменко А.В. Вторинне використання будівельних відходів / — Режим доступу : [https://eprints.kname.edu.ua/46772/1/ilovepdf\\_com-234-235.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/46772/1/ilovepdf_com-234-235.pdf) / — 01.12.2023 р.
- [2] Building a circular economy: The role of information transfer/ — Режим доступу : [DP\\_the\\_role\\_of\\_information\\_transfer.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/46772/1/DP_the_role_of_information_transfer.pdf) (epc.eu) / — 01.12.2023 р.
- [3] Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions / — Режим доступу: [A new Circular Economy Action Plan](https://eprints.kname.edu.ua/46772/1/A_new_Circular_Economy_Action_Plan) (europa.eu) / — 01.12.2023 р.



## УДК 681.5:004.94

М.С. Друзєв, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н., асист. Велигоцький Д.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВИРОБУ ПІД ЧАС 3D-ДРУКУ

**Анотація.** За допомогою 3D-принтерів, які стали більш популярними в останнє десятиліття, можна створювати фізичні об'єкти з даних 3D-моделі шляхом пошарового додавання матеріалу. Але часто виникають помилки друку, такі як відокремлення деталі від столика принтера, зупинка подачі матеріалу, деформування шару та інші, що призводять до дефектів та браку виробу. Тому є гострим питання в ефективному та не дорогому контролі якості під час 3D-друку. В роботі представлено розроблену автоматизовану систему контролю виробу для виявлення дефектів на основі комп'ютерного зору. Використання камери забезпечує точний аналіз геометрії та якості об'єктів, а алгоритм дозволяє швидко ідентифікувати відхилення, знижуючи ризик браку та витрат.

**Ключові слова:** 3D-друк, комп'ютерний зір, автоматизована система контролю, геометричний контроль, якість продукції.

### ВСТУП

У сучасному світі 3D-друк відкриває нові горизонти в області виробництва, дозволяючи створювати складні геометричні структури з високою точністю та ефективністю [1, 2]. Точність та швидкість 3D-друку революціонізують виробництво, дозволяючи втілювати складні конструкції, які були неможливі або недосяжні раніше. Однак, разом з поширенням цих технологій, виникає необхідність у вдосконаленні методів контролю якості. Автоматизація контролю виробу під час 3D-друку є ключовим фактором забезпечення якості та повторюваності виробництва.

### РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВИРОБУ ПІД ЧАС 3D-ДРУКУ

Для реалізації контролю виробу під час 3D-друку було використано алгоритми комп'ютерного зору так як останнім часом йому приділяють значну увагу в автоматизованих системах контролю [3, 4]. Завдяки алгоритмам машинного навчання [5] та аналізу зображень, системи комп'ютерного зору дозволяють виконувати не тільки кількісні, але й якісні оцінки виробів. Використання комп'ютерного зору для моніторингу 3D-друку забезпечує надійне та точне вимірювання геометричних параметрів, покращуючи якість та ефективність виробничих процесів.

Для дослідження було використано FDM-принтер (Wanhao Duplicator 4S), а система збору даних зображена на рис. 1. Принтер використовує сопло діаметром 0,4 мм, робочу площу 225x145 мм з можливістю нагріву до 120 °C та ABS пластик діаметром 1,75 мм як матеріал нитки, який використовується для друку. Для отримання зображень слоїв під час процесу 3D-друку була застосована веб-камера з 13 мегапікселями.

Алгоритм роботи запропонованої системи контролю якості для 3D-друку, який представлений на рис. 2, починається з ініціалізації та калібрування камери. Це забезпечує отримання якісного зображення об'єкта друку з усіх необхідних кутів для подальшого аналізу. Після цього етапу відбувається завантаження вхідних даних, що включає імпорт G-коду, який містить детальні інструкції для 3D-принтера, або ж введення параметрів вручну через інтерфейс програми. Це дає гнучкість оператору в керуванні процесом друку відповідно до

конкретних вимог виробництва.

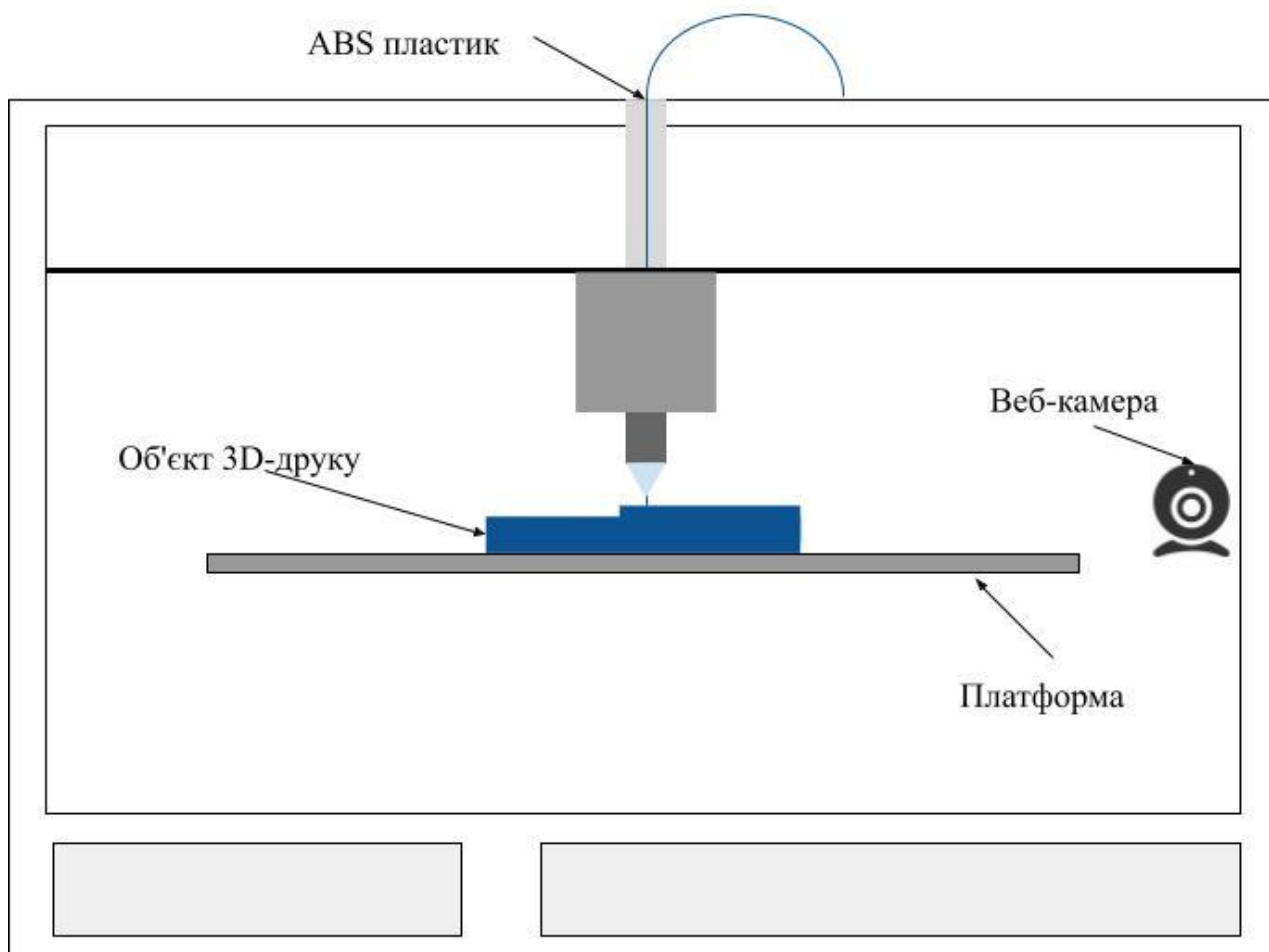


Рисунок 1. Схематичне зображення системи збору даних

Відразу після завантаження даних система переходить до критичного етапу *обробки зображення*. Обробка зображення включає перетворення кольорового зображення у відтінки сірого, що дозволяє зосередитися на яскравості та контрастності, необхідних для ідентифікації геометричних характеристик об'єкта. Далі застосовується розмиття Гауса [6], яке використовує нормальний розподіл вагових коефіцієнтів для зменшення шуму та нерівностей на зображенні, підвищуючи таким чином якість країв, що мають бути виявлені. Завершується обробка зображення застосуванням алгоритму Canny [7] для виявлення країв, який ефективно визначає важливі границі об'єкта на зображенні, виокремлюючи їх від менш значущих змін інтенсивності. Цей двоступеневий підхід до визначення країв забезпечує точність і надійність в результатах, що є фундаментальним для подальшої автоматизації контролю якості в процесі 3D-друку.

В якості параметрів контролю було обрано *контроль лінійних розмірів*, а саме ширини та довжини. Якщо в процесі верифікації розмірів виявляється, що вони виходять за допустимі межі, система негайно зупиняє друк. Це дозволяє уникнути витрати матеріалів та часу на виробництво бракованого продукту.

Після зупинки друку, оператор може або ввести корективи для вирішення проблеми, або відразу перейти до аналізу причин відхилення розмірів. У разі успішного завершення друку, коли всі параметри відповідають заданим, система переходить до збереження даних.

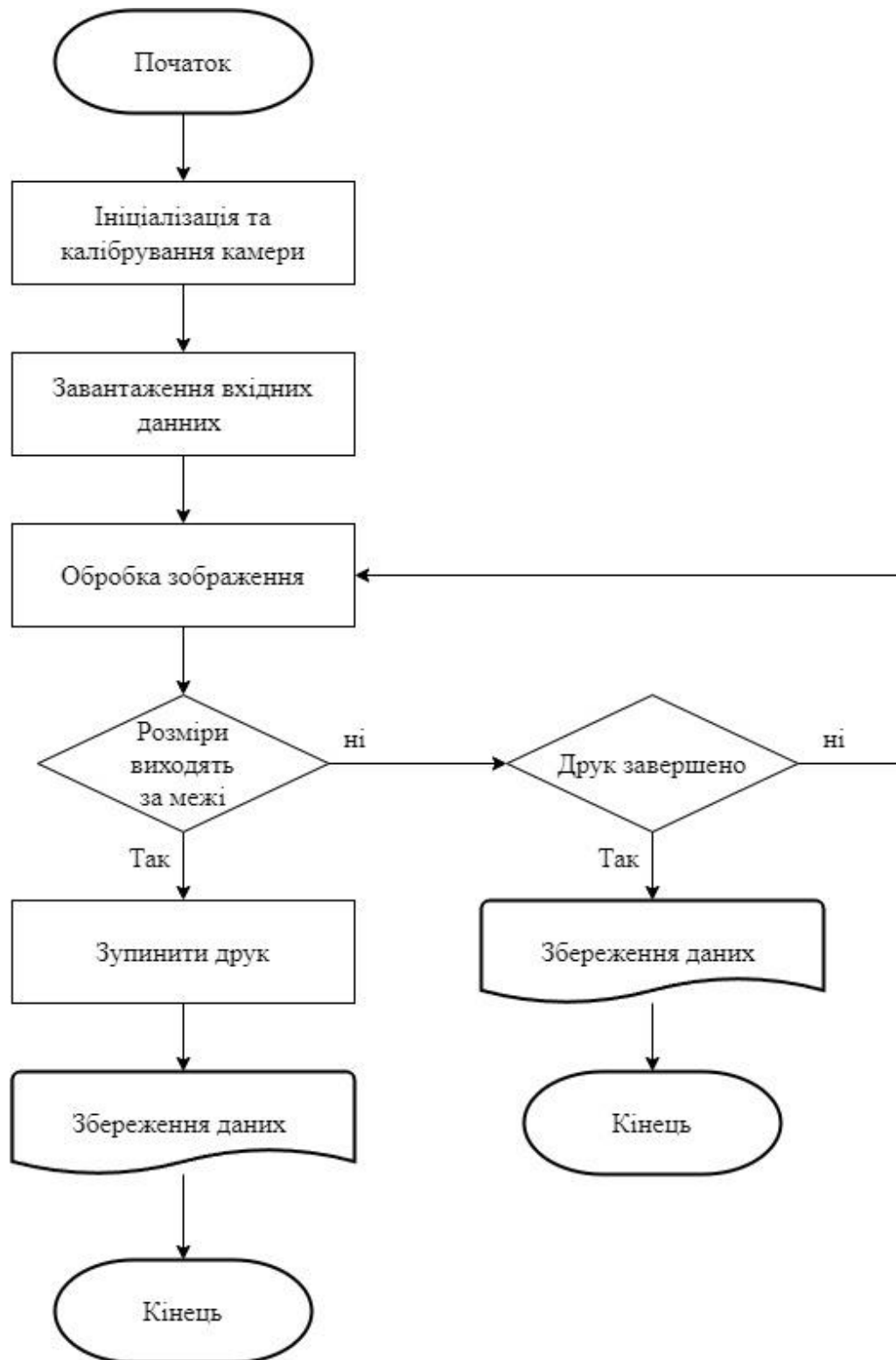


Рисунок 2. Алгоритм роботи системи контролю

## ВИСНОВОК

В даній роботі було розроблено та апробовано автоматизовану систему контролю виробу під час 3D-друку для виявлення дефектів в режимі реального часу. Розроблена система контролю створена на основі комп'ютерного зору з алгоритмами для детального аналізу зображень. Оптимізований алгоритм контролю, що зупиняє друк у разі виявлення невідповідностей, дозволяє зменшити відходи матеріалу та часу. В подальшому планується дослідити точність виявлення дефектів під час 3D-друку створеної системи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Tamir, T.S., Xiong, G., Fang, Q., Yang, Y., Shen, Z., Zhou, M., & Jiang, J. (2023). Machine-learning-based monitoring and optimization of processing parameters in 3D printing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(9), 1362-1378.
- [2] Wang, C., Tan, X.P., Tor, S.B., & Lim, C.S. (2020). Machine learning in additive manufacturing: State-of-the-art and perspectives. *Additive Manufacturing*, 36, 101538.
- [3] Stelmakh, N., Mastenko, I., Sulima, O., & Rudyk, T. (2023). Features of the implementation of computer vision in the problems of automated product quality control. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 13(1), 38-41.
- [4] Stelmakh, O.P., Stetsenko, I.V., & Velyhotskyi, D.V. (2020). Information technology of video data processing for traffic intensity monitoring. *Control systems & computers*, 3, 50-59.
- [5] Вонсевич, К.П., & Безуглий, М.О. (2022). *Аналіз вимірювальних сигналів. Комп'ютерний практикум*. КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- [6] Gedraite, E.S., & Hadad, M. (2011, September). Investigation on the effect of a Gaussian Blur in image filtering and segmentation. In *Proceedings ELMAR-2011* (pp. 393-396). IEEE.
- [7] Ding, L., & Goshtasby, A. (2001). On the Canny edge detector. *Pattern recognition*, 34(3), 721-725.

*Наук. керівник – к.т.н., асист. Велигоцький Д.В.*

УДК 621.7:004.67

А.В. Ледяєв, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н, доц. Барандич К.С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ОБРОБЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

**Анотація.** У роботі проаналізовано вплив якості поверхневого шару деталей приладів на їх експлуатаційні властивості. Виконано аналіз взаємозв'язку якості поверхневого шару деталей приладів з умовами їх оброблення та розроблено алгоритм інформаційної системи визначення умов оброблення поверхонь деталей приладів в залежності від їх експлуатаційних властивостей.

**Ключові слова:** поверхневий шар, якість поверхні, експлуатаційні властивості, інформаційна система, методи оброблення.

### ВСТУП

Зростаючі навантаження, швидкості, температури та агресивність експлуатаційного середовища ставлять перед конструкторами і технологами високу відповідальність щодо якості деталей, а особливо їх поверхневого шару. Це пов'язано з тим, що поверхневий шар деталей безпосередньо контактує з навколишнім середовищем і піддається різному впливу, такому як тертя, вібрації, силові навантаження, корозія, зношування тощо. Тому від стану поверхневого шару деталей безпосередньо залежить надійність і тривалість експлуатації виробу.

Сучасному технологу потрібно глибоко розуміти фізичні явища, які відбуваються під час оброблення, і бути в змозі створювати технологічні процеси, що дозволяють досягти необхідних значень експлуатаційних властивостей виробів. Тому актуальність теми впливу якості поверхневого шару на експлуатаційні властивості приладів не зменшується.

Поверхневий шар деталі – це шар [1], у якого структура, фазовий і хімічний склад відрізняються від основного матеріалу, з якого виготовлена деталь.

У поверхневому шарі металевих деталей можна виділити такі основні зони (рис. 1):

1 – зона адсорбованих із навколишнього середовища молекул і атомів органічних і неорганічних речовин. Товщина шару – 1 ... 0,001 мкм;

2 – зона продуктів хімічної взаємодії металу з навколишнім середовищем (зазвичай оксидів). Товщина шару – 10 ... 1 мкм;

3 – гранична зона із товщиною декількох міжатомних відстаней, яка має іншу кристалічну та електронну структуру;

4 – зона зі зміненими порівняно з основним металом структурою, фазовим і хімічним складом, який виникає під час виготовлення деталі та змінюється в процесі експлуатації;

5 – основний метал.

Товщина і стан зазначених зон поверхневого шару можуть змінюватися залежно від складу матеріалу, методу оброблення, умов експлуатації. Оцінюють

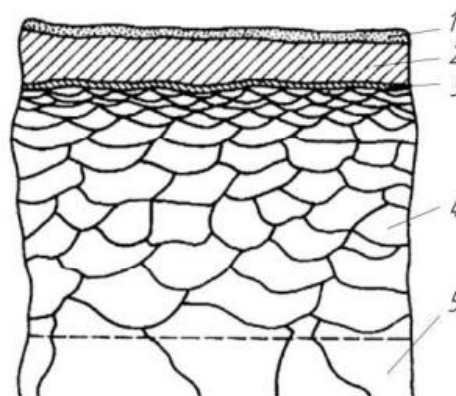


Рис. 1. Схема поверхневого шару деталі [1]

даний стан за допомогою методів хімічного, фізичного та механічного аналізу. У науковій та інженерній практиці стан поверхневого шару оцінюють набором одиничних або комплексних параметрів [2], основні з яких показано на рис. 2.

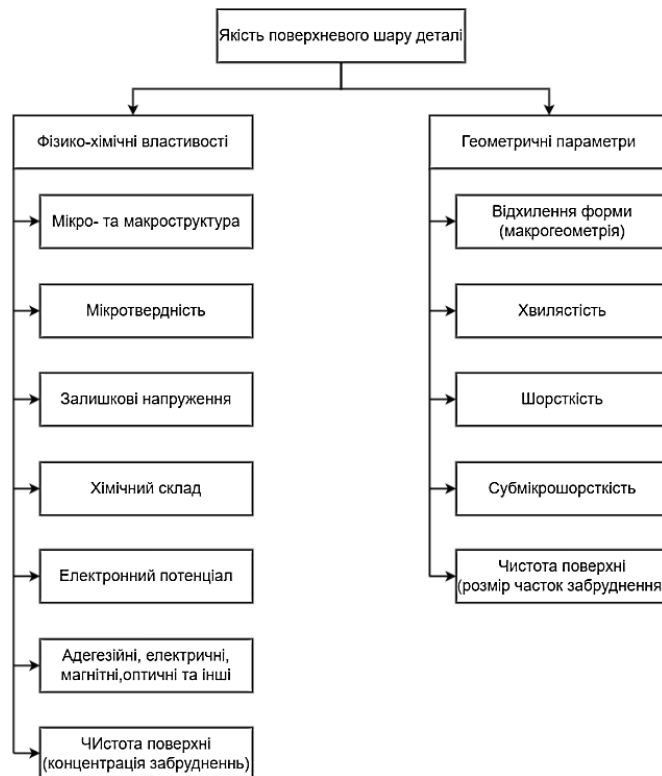


Рис. 2. Основні параметри якості поверхневого шару деталі [3]

Аналіз літературних даних [1, 4, 5] показує, що основні експлуатаційні властивості, залежать від параметрів якості поверхневого шару деталі, а саме:  $R_{max}$ - максимальна висота профілю шорсткості в межах базової довжини, мкм;  $R_z$ - висота нерівностей профілю шорсткості по десяти точках у межах базової довжини, мкм;  $R_a$ - середнє арифметичне відхилення профілю шорсткості від середньої лінії в межах базової довжини, мкм;  $R_p$ - висота найбільшого виступу профілю шорсткості, мкм;  $H_{max}$ - максимальна висота макровідхилення, мкм;  $H_p$ - висота згладжування макровідхилення (відстань від середньої лінії профілю до огинаючої), мкм;  $W_z$ - висота нерівностей профілю хвиль по десяти точках, мкм;  $S_m$ - середнє значення кроку нерівностей профілю шорсткості по середній лінії в межах базової довжини, мкм;  $W_{max}$ - максимальна висота профілю хвиль, мкм.

Отож, знаючи відповідні параметри якості поверхневого шару, можливо розрахувати необхідні експлуатаційні властивості, що визначають надійність роботи виробу під час реальної експлуатації та надати рекомендації щодо умов оброблення відповідальних поверхонь. Відповідно до проаналізованих умов роботи приладів до найбільш важливих експлуатаційних властивостей деталей та їх з'єднань можна віднести контактну жорсткість, герметичність з'єднань та корозійну стійкість.

Контактна жорсткість є параметром, що визначає ступінь стійкості матеріалів до зносу та деформації під час контакту або взаємодії одного матеріалу з іншим [6].

Контактна жорсткість  $j$  визначається як відношення прикладеного навантаження  $P$  до зміщення  $y_k$  матеріалу в контактi. Математично це виражається як:

$$j = \frac{P}{y_k} \quad (1)$$

де  $j$  – контактна жорсткість (просторова константа)(Н/м);  $P$  – прикладене навантаження (сила або тиск)(Н або Па);  $y_k$  – зміщення (деформація) матеріалу в контактi (мкм).

Величина  $y_k$  при першому навантаженні визначається як сума пластичних та пружних контактних деформацій поверхневих шарів двох деталей:

$$y_k = (y_{nl1} + y_{nl2}) + (y_{np1} + y_{np2}) \quad (2)$$

При дії нормальної сили  $P$  на плоский стик величина пластичних деформацій становить:

$$y_{nl} = \pi^3 \sqrt{\frac{2\pi \cdot P \cdot R_a \cdot W_z \cdot H_{\max}}{A \cdot H_{\mu 0}}}, \quad (3)$$

де  $A$  – геометрична площа контакту;  $H_{\mu 0}$  – поверхнева мікротвердість.

Пружні деформації пропорційні пластичним:

$$y_{np} = 2\pi \cdot \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot H_{\mu 0} \cdot S_m \cdot \frac{y_{nl}}{R_a} \quad (4)$$

$E$  – модуль Юнга;  $H_{\mu 0}$  – поверхнева мікротвердість;  $\mu$  – модуль зсуву;  $R_a$  – середнє арифметичне відхилення профілю шорсткості від середньої лінії в межах базової довжини

Герметичність з'єднань визначає здатність утримувати витік газу або рідини. Герметичність забезпечує нормальний перебіг робочого процесу, збереження робочого середовища, захист від корозії, забруднення, втрати тиску тощо. Герметичність характеризується кількістю речовини, що перетікає крізь певну «оболонку» за одиницю часу.

Для рідин витік  $Q$  у мм<sup>3</sup>/с розраховується за формулою:

$$Q = 0.0066 \frac{\pi \cdot D \cdot \Delta p \cdot k}{\mu \cdot l} \cdot H \quad (6)$$

де  $\Delta p$  – перепад тиску, що спричиняє рух середовища, МПа;  $k$  – коефіцієнт проникності;  $l$  – розміри контакту, мм;  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості середовища, що характеризує швидкість руху середовища, МПа·с;  $H$  – товщина пористого шару поверхонь, що сполучаються під навантаженням, що залежить від параметрів якості цих поверхонь:

$$H = 0.5(H_{\max 1} + H_{\max 2} + W_{z1} + W_{z1}) + R_{p1} + R_{p2} - y_k \quad (7)$$

$H_{\max}$  – максимальна висота макровідхилення, мкм;  $W_z$  – висота нерівностей профілю хвиль по десяти точках, мкм;  $R_p$  – висота найбільшого виступу профілю шорсткості, мкм;  $y_k$  – зміщення (деформація) матеріалу в контактi (мкм).

У приладобудуванні корозійна стійкість є однією з найважливіших характеристик матеріалів, що враховується під час виготовлення приладів. Прилади часто працюють в агресивних середовищах, таких як морська вода, кисень, солі, хімічні речовини тощо.

Рівняння зміни корозійної стійкості деталі після механічного оброблення має вигляд:

$$v_k = v_{k0} \cdot (1.1U_H^4 + 4U_H^3 - 4.1U_H^2)(28 \cdot 10^6 \frac{R_{\max} - R_p}{tm^2 Sm^2})^n \quad (8)$$

де  $v_{k0}$ — швидкість корозії матеріалу деталі, мм/рік;  $tm$  — відносна опорна довжина профілю шорсткості на рівні середньої лінії профілю  $U_H$ - ступінь наклепу поверхневого шару, мм;  $n$  — коефіцієнт, що залежить від умов кородування.

Зважаючи на складність виконання розрахунків значень експлуатаційних властивостей за представленими вище формулами, великий об'єм довідкової інформації, яка необхідна для їх здійснення, важливість врахування параметрів якості поверхневого шару деталей та результатів даних розрахунків при визначенні умов оброблення деталей актуальною є задача автоматизації даних етапів технологічної підготовки виробництва за рахунок створення відповідної інформаційної системи.

## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Метою дослідження є розробка та впровадження інформаційної системи, яка дозволяє визначати умови оброблення поверхонь деталей приладів з урахуванням їх експлуатаційних властивостей та параметрів якості поверхневого шару, задля підвищення надійності експлуатації виробів.

Для розробки інформаційної системи виконано наступні задачі:

- 1) Проаналізовано вплив якості поверхневого шару деталей приладів на їх експлуатаційні властивості.
- 2) Виконано аналіз взаємозв'язку якості поверхневого шару деталей приладів з умовами їх оброблення.
- 3) Отримано математичні залежності основних експлуатаційних властивостей деталей приладів від параметрів якості поверхневого шару.
- 4) Розроблено алгоритм автоматизованої системи визначення умов оброблення поверхонь деталей приладів в залежності від їх експлуатаційних властивостей та параметрів якості поверхневого шару.
- 5) Виконано програмну реалізацію інформаційної системи.
- 6) Розроблено методикку використання інформаційної системи.

Інформаційна система розроблена для визначення умови оброблення поверхні деталі та обчислення значення експлуатаційної властивості. Насамперед потрібно обрати експлуатаційну властивість для дослідження. Наступним кроком є введення параметрів якості поверхневого шару необхідних для визначення експлуатаційної властивості та вибір типу матеріалу, з якого буде виготовлена деталь та вибір значень властивостей матеріалу із бази даних. Обов'язковим кроком є вибір типу оброблюваної поверхні, адже не всі поверхні можливо обробити одним методом. В результаті виконання всіх дій отримуємо значення експлуатаційної властивості та метод обробки деталі з урахуванням всіх попередньо введених даних. Задля комфорту використання та доступності інформаційну систему оформлено у вигляді веб сайту (рис. 3), а це означає, що користувачі зможуть використовувати система на різних девайсах та пристроях.



Інформаційна система для визначення умов оброблення поверхонь деталей приладів в залежності від їх експлуатаційних властивостей

Оберіть експлуатаційну властивість для дослідження: Властивість  
Корозійна стійкість

---

Введіть параметри якості поверхневого шару:

Un:	1.27
Rmax:	1.95
Rp:	14.1
tm:	1.08
Sm:	0.5

---

Оберіть тип матеріалу: Тип матеріалу  
Вуглецева сталь

Обраний тип матеріалу: Вуглецева сталь Швидкість корозії:  $4.0 \cdot 10^{-5}$   
має характеристики: Степінь наклепу: 1.08...1.63

---

Оберіть тип поверхні: Тип поверхні  
Плоска поверхня

**ОБЧИСЛИТИ**

Можливий метод обробки: Токарна чистова  
Значення властивості - Корозійна стійкість = 0.91

Рис.3 Інтерфейс інформаційної системи

## ВИСНОВКИ

Відповідно до виконаного аналізу взаємозв'язку якості поверхневого шару деталей приладів на їх експлуатаційні властивості та аналізу взаємозв'язку якості поверхневого шару деталей приладів з умовами їх оброблення було отримано математичні залежності. Розроблено алгоритм роботи інформаційної системи, що дає можливість розрахувати необхідне значення експлуатаційної властивості та визначити метод оброблення деталі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Берник П.С. Технологічні методи забезпечення надійності машин / П.С. Берник, І.С. Афтаназін, І.О. Сивак, А.В. Пешко, Ю.М. Голуб, О.С. Конюхов. – Київ: КИТ, 2004. – 148 с.
- [2] Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин. Дніпропетровськ РВВ ДНУ 2015
- [3] Sulima A.M., Shulov V.A., Yagodkin Yu.D. Surface layer and performance characteristics of machine parts. – М.: Mashinostroyeniye, 1988.
- [4] Барандич К. С. Технологічне забезпечення циклічної довговічності деталей при їх токарному обробленні: дис. канд. техн. наук : 05.02.08 – технологія машинобудування / Барандич Катерина Сергіївна. – Київ, 2018. – 204 с. 31. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/22550>
- [5] Barandyuk K. S., Vysloukh S. P., Antonyuk V. S. Ensuring Fatigue Life of Parts During Finish Turning with Cubic Boron Nitride Tools //Journal of Superhard Materials. – 2018. – Т. 40. – №. 3. – С. 206-215.
- [6] Aibin Z, Shengli H, Chao Z, Wei C. 2017. The effect analysis of contact stiffness on wear of clearance joint. J. Tribol. 139

## УДК 629.7.05

*С.О. Мандровська, студентка гр. ПБ-21мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОСЕРЕДКІВ ПОЖЕЖ ЗІ ЗНІМКІВ МАЛОГАБАРИТНИХ БПЛА**

**Анотація.** В роботі розглядається використання малогабаритних безпілотних літальних апаратів для виявлення осередків пожеж на базі розроблення нейронної мережі, що автоматизує процес реєстрації та підвищить ефективність процесу виявлення пожеж за допомогою розпізнавання фотографій, зроблених засобами малогабаритним БПЛА, що дозволить пришвидшити процес реагування на пожежі та зменшить їхні руйнівні наслідки, з використанням мінімальної кількості ресурсів.

**Ключові слова:** БПЛА, нейронна мережа, ResNet-152, комп'ютерний зір

#### **ВСТУП**

Стрімкий розвиток технологій у сучасному світі забезпечує зростання ефективності використання малогабаритних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), завдяки чому з'явилась можливість автоматизувати безліч процесів і тим самим знайти нові галузі їхнього застосування.

Однією з таких галузей застосування малогабаритних БПЛА є моніторинг та виявлення осередків пожеж, адже в умовах впливу людського фактору, кліматичних умов та природних катастроф, дана проблема набуває особливого значення.

Завдяки розвитку технологій штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання, можливо автоматизувати процес виявлення осередків пожеж і тим самим пришвидшити локалізацію та усунення катастрофи, що дозволить зменшити руйнівні наслідки для життя та здоров'я людей, навколишнього середовища, природних та майнових ресурсів.

Завдяки використанню малогабаритних БПЛА в процесі виявлення осередків пожеж, можливо зменшити ризики для життя та здоров'я людини-пілота, що керує літальним апаратом, адже даний метод виключає необхідність фізичного перебування людини на місці катастрофи. [1]

За допомогою комп'ютерного зору, можливо значно зменшити витрати на виробництво малогабаритних БПЛА за рахунок зменшення кількості необхідних для роботи датчиків та сенсорів, натомість використовуючи лише камеру [2].

#### **МЕТА РОБОТИ**

Основною метою дослідження є розроблення нейронної мережі для автоматизації та підвищення ефективності процесу виявлення пожеж за допомогою розпізнавання фотографій, зроблених засобами малогабаритним БПЛА, що дозволить пришвидшити процес реагування на пожежі та зменшить їхні руйнівні наслідки, з використанням мінімальної кількості ресурсів.

#### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Важливою частиною створення нейронної мережі для розпізнавання осередків пожеж зі знімків, зроблених за допомогою малогабаритних БПЛА є підготовка даних [3].

Оскільки нейронна мережа розробляється для використання моніторингу

пожеж в сільському господарстві, навчальні дані складаються з зображень полів, на яких вирощуються різні типи рослин на усіх стадіях їхнього росту.

При підготовці бази даних важливо враховувати якнайбільше можливих варіантів зовнішніх обставин, таких як освітлення, ракурс, час доби, кут нахилу знімку, пори року, погоди тощо.

При підготовці даних з зображеннями пожеж, важливо зібрати дані з різними ступенями та масштабами загоряння (від невеликого вогню до масштабної пожежі), різними ступенями задимлення та різними стадіями пожежі (від початкового загоряння до масштабного згарища).

Дані, що складаються з зображень без пожеж також потребують детальної підготовки, оскільки в них потрібно включити природні явища, які нейронна мережа може ідентифікувати як пожежу. Наприклад, туман, що може бути схожим на дим, чи яскравий захід сонця, який може мати спільні візуальні ознаки з вогнем.

Для якісного навчання нейронної мережі та отримання достовірних результатів, було зібрано базу даних з різних Інтернет-ресурсів, що складалася з 1254-х фотографій, що не містять пожеж та 1482-х фотографій, на яких зображені осередки пожеж.

Нейронна мережа базується на основі архітектури Residual Network with 152 layers (ResNet-152), оскільки здатна навчатись на великих наборах даних та вирішує задачу класифікації зображень.

ResNet-152 – це глибока згорткова нейромережа, що розроблена для вирішення завдань розпізнавання зображень (комп'ютерного зору). Архітектура має 152 шари, що дозволяє працювати з великим обсягом даних. [4]

Для того, щоб якісно оцінити роботу нейронної мережі в процесі навчання, використовують побудову графіків навчання моделі, адже вони є ефективним інструментом для аналізу роботи нейронної мережі. Вони використовуються здебільшого для уникнення перенавчання, або недонавчання нейронної мережі [4]. На рисунку 1 візуально представлені зміни точності функції втрат моделі на тренувальній та тестовій вибірці. На рисунку 2 представлений графік точності моделі на тестовій та навчальній множині.

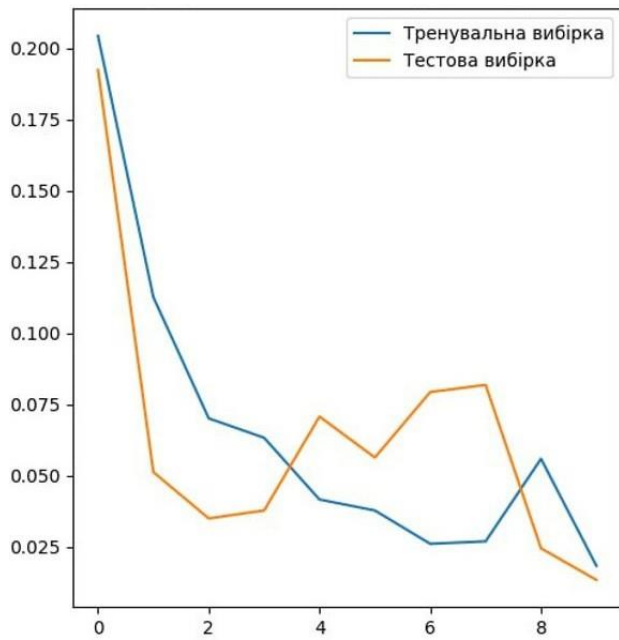


Рисунок 1. Тренувальні та тестові втрати моделі

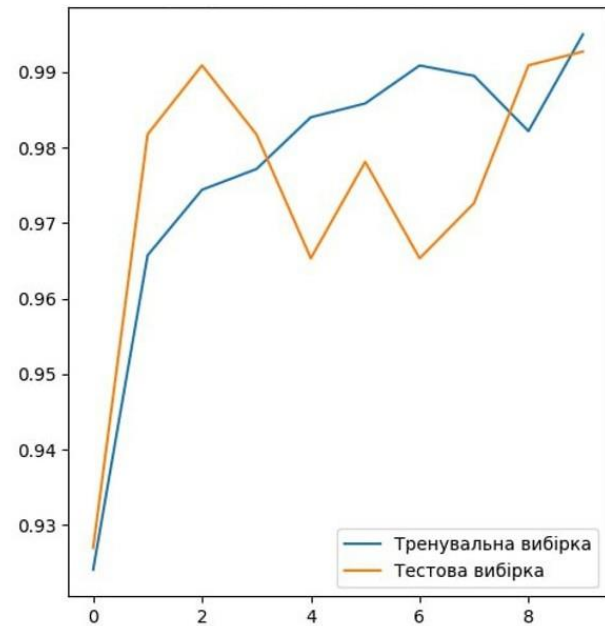


Рисунок 2. Тренувальна та тестова точність моделі

При розробці нейронної мережі для розпізнавання осередків пожеж зі знімків з малогабаритних безпілотних літальних апаратів, важливо не тільки досягти точних результатів на тестових даних, а й візуально відобразити результати роботи на фотографіях полів [5]. На рисунку 3 зображено перевірку розпізнавання пожеж на трьох випадкових зображеннях, взятих бази даних, що використовувались для навчання.



Рисунок 3. Результат роботи нейронної мережі на трьох зображеннях, вибраних випадковим чином з бази даних

Як можна побачити з рисунку 3, нейронна мережа надала правильні статуси до кожного зображень.

## ВИСНОВКИ

Спроектowana нейронна мережа може використовуватись для вирішення задачі з пошуку та виявлення осередків пожеж та бути інтегрована в систему керування малогабаритних БПЛА. При перевірці роботи нейронної мережі було проведено тестування на власних зображеннях (рисунку 4).

### Відповідь нейромережі: Детектована пожежа!



Рисунок 4. Результат роботи нейронної мережі на власному зображенні

Як можна побачити з рисунку 4, нейронна мережа успішно ідентифікувала наявність пожежі на знімку, який було завантажено із зовнішнього ресурсу.

В майбутніх дослідженнях планується розробка окремого програмного забезпечення для спрощення використання даної нейронної мережі кінцевим споживачем та його безпосередня інтеграція в систему керування малогабаритних безпілотних літальних апаратів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Стельмах Н. В., Мандровська С. О. «Огляд, аналіз і прогноз систем керування малогабаритними БПЛА», НУ «Чернігівська політехніка» – 2023.
- [2] N. Stelmakh, I. Mastenko, O. Sulima, & T. Rudyk, “Features of the implementation of computer vision in the problems of automated product quality control”, *Informatyka, Automatyka, Pomiarowy W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 13(1), pp. 38-41, 2023. DOI: 10.35784/iapgos.3434
- [3] Patil, Aseem, and Milind Rane. «Convolutional neural networks: an overview and its applications in pattern recognition.» *Information and Communication Technology for Intelligent Systems: Proceedings of ICTIS 2020, Volume 1 (2021)*: 21-30.
- [4] Khan, Asifullah, et al. «A survey of the recent architectures of deep convolutional neural networks», *Artificial intelligence review* 53 (2020): 5455-5516.
- [5] Yuan, C., Liu, Z., Zhang, Y.: Vision-based forest fire detection in aerial images for firefighting using UAVs. In: 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), pp. 1200–1205 (2016).

*Наук. керівник – д.т.н., доц. Стельмах Н.В.*

УДК 004.93'1

*І.В. Мастенко, аспірант гр.ПБ-11ф, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ДЕФЕКТІВ ВИРОБІВ ТИПУ ТІЛА ОБЕРТАННЯ

**Анотація.** В роботі розглянуто проблематику контролю вихідних характеристик готової продукції, яку пропонується вирішити використанням методів комп'ютерного бачення та запропоновано математичний опис одного з видів дефектів застосувавши перетворення Гафа, яка успішно використовується для *знаходження недосконалих примірників об'єктів певного класу фігур за допомогою процедури голосування.*

**Ключові слова :** комп'ютерний зір, методика Гафа, автоматизоване виробництво, контроль якості

### ВСТУП

Використання методів комп'ютерного бачення стрімко поширюється для охоплення всіх спектрів технології виробництва. Завдання яке необхідно вирішити включає вихідний контроль якості очеретяних трубочок, які є предметами природнього походження та включають в себе різноманітні критерії для контролю, що сильно ускладнює завдання вихідного контролю якості. Такі дефекти як плями та мікротріщини не є критичними для функціоналу об'єкту дослідження але прямо впливають на зовнішній вигляд виробу та пройде контроль якості. Основною класифікацією є класифікація за формою, розміром, типом дефекту та його місцем розташування. Щоб вихідний контроль був якісним потрібно належним чином провести машинне навчання моделі [1].

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Методи комп'ютерного бачення для вихідного контролю якості широко використовуються завдяки своїй ефективності та об'єктивності результатів порівняно із людською перевіркою. Але, з іншого боку, у деяких випадках великим недоліком є те, що розробка таких систем забирає багато часу. Звідси і прагнення знайти нові, швидкі та надійні рішення [2].

Для контролю якості виробів типу тіла обертання перевагою є те, що тіло можна розглянути на базі циліндру та розбити на незалежні зони, це дозволяє паралельно займатись вихідним контролем. Однією із таких зон буде торцева частина.

При класифікації дефектів за формою розрізняють три основних випадки (рис.1): а - дефекти правильної форми, овальні, близькі до циліндричної або сферичної форми, без гострих країв; б - дефекти чечевицеподібної форми, з гострими краями; в - дефекти довільної, невизначеної форми, з гострими краями - тріщини, розриви, сторонні включення.

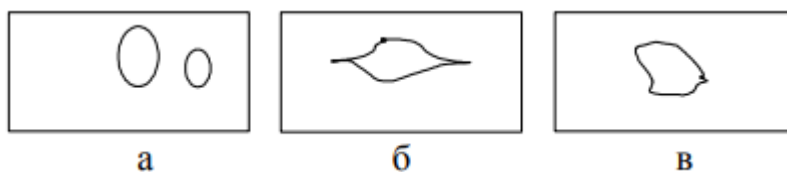


Рисунок 1. Класифікація дефектів за формою: а - правильна форма; б - чечевицеподібна форма з гострими краями; в - довільна, невизначена форма з гострими краями

При класифікації дефектів за положенням розрізняють чотири випадки (рис. 2): а - поверхневі дефекти, розташовані на поверхні матеріалу, напівфабрикату або виробу, - це тріщини, вм'ятини, сторонні вclusions; б - підповерхневі дефекти - це дефекти, розташовані під поверхнею контрольованого виробу, але поблизу самої поверхні; в - об'ємні дефекти - це дефекти, розташовані всередині виробу. Наявність фосфоридних і нітридних включень і прошарків може призвести до утворення дефектів четвертого виду - наскрізних

За формою поперечного перерізу наскрізні дефекти бувають круглі (пори, свищі, шлакові вclusions) і щілиновидні (тріщини, непровари, дефекти структури, несучільності в місцях розташування оксидних та інших включень і прошарків). За величиною ефективного діаметра (для дефектів округлого перетину) або ширини розкриття (для щілин, тріщин) наскрізні дефекти підрозділяються на звичайні ( $> 0,5$  мм), макрокапілярні ( $0,5 \dots 4 \cdot 10^{-2}$  мм) і мікрокапілярні ( $< 4 \cdot 10^{-2}$  мм) . [3]

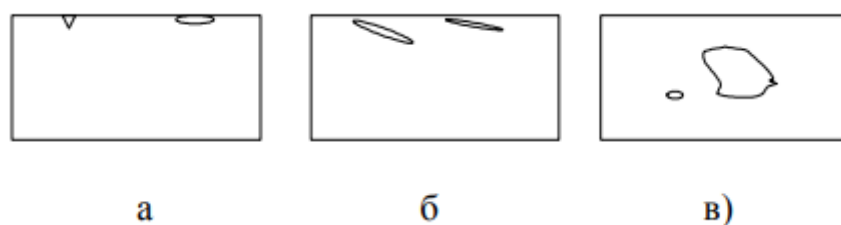


Рисунок 2. Класифікація дефектів за положенням в контрольованому об'єкті:  
а - поверхневі; б - підповерхневі; в - об'ємні

Очеретяна трубочка є виробом складної форми для вихідного контролю методом комп'ютерного бачення, який складається із декількох поверхонь, які можна розглянути як бічну поверхню, в розгорнутому вигляді вона набуває форми прямокутника, та торця, який в розгорнутому вигляді має форму рівнобедреної трапеції. У даній роботі розглянемо торцеву частину очеретяної трубочки, яка геометрично характеризується внутрішнім та зовнішнім діаметром, серед допустимих дефектів використовуючи наші засоби ми можемо виділити торцеву тріщину, а також новоутворення в середині виробу (рис. 3) [4].



Рисунок 3. Торцева частина очеретяної трубочки

Першим кроком методики перетворення Гафа, яка є найбільш придатною і широкозастосовуваною, серед методів виявлення круглої форми визначаємо

центр трубочки, для визначення внутрішнього та зовнішнього діаметру, окрім цього це дасть розуміння про поки невідомий параметри координат центру виробу ( $x_0, y_0$ ), а також зовнішній та внутрішній діаметри як  $r_1$  та  $r_2$  відповідно.

Повторно використовуючи метод кругового перетворення Гафа, але зменшуючи область пошуку, перевіряємо виріб на наявність новоутворень, так як за правило вони не є щільними і мають просвіт, отже можна виділити серед них коло перетворенням Гафа теж (рис. 4).

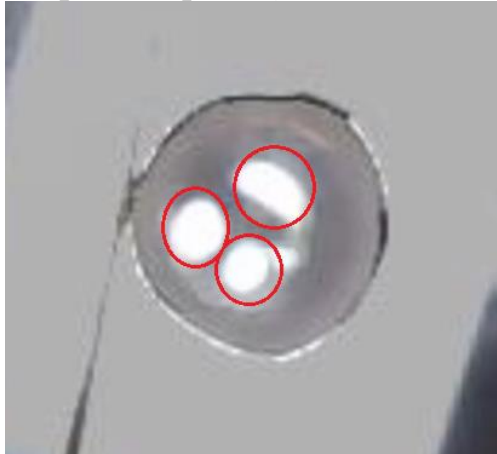


Рисунок 4. Торцева частина очеретяної трубочки з дефектом

Знаходження новоутворень, виконується у площині, що обмежена на минулому етапі знайденим радіусом  $r_2$ . Після проведення операцій перевірок методом Гафа, очеретяну трубку провіряємо в декілька послідовних етапів, і якщо хоч на одному буде виявлено відхилення від заданих параметрів, цей об'єкт контролю, тобто виріб буде відсортований або відбракований.

Першим кроком буде попередня обробка зображення і ізоляція всіх зовнішніх чинників. Другим буде перетворення області круга в площину, для цього позначимо зовнішній та внутрішній діаметри як  $r_1$  та  $r_2$  відповідно.

Наступним кроком розгорнемо область круга для створення прямокутної зони для спрощення обробки інформації. Периметр кола радіусом  $r$  дорівнює  $2\pi r$ , оскільки у нас  $r_1 > r_2$ , то  $2\pi r_1 > 2\pi r_2$ . Площа нашого круга із діаметрами  $r_1$  та  $r_2$  в розгорнутому виді набуде форми рівнобедреної трапеції із відношеннями сторін як  $r_1/r_2$ . Опрацьовуючи форму таким чином, втрачаються важливі пікселі, що впливає на кінцевий результат, тому кращим варіантом буде розв'язати матрицю як  $2\pi r_1$  та додати до неї відсутні пікселі шляхом дублювання сусідніх. Зазначимо що кількість відсутніх пікселів пропорційна відношенню як  $r_1/r_2$ .

Використовуючи вихідні дані розгортаємо круг для отримання прямокутної матриці, висотою  $r_1 - r_2 + 1$  і довжиною  $2\pi r_1$ . Процес розгортання можна представити як трансформування від полярної системи координат до декартової. Введемо нові значення ( $x_c, y_c$ ), як координати центра кола (рис. 5). Кожен піксель в полярній системи координат відображається радіусом  $r$  та кутом  $\theta$  [5].



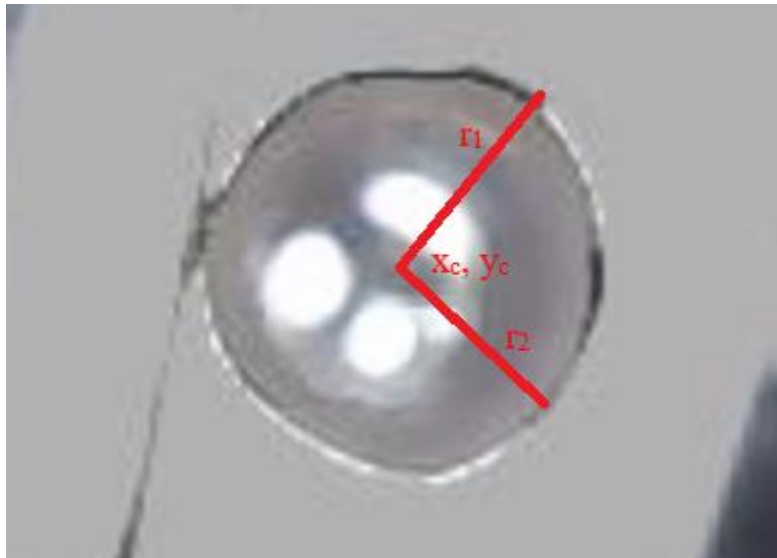


Рисунок 5. Торцева частина очеретяної трубочки з параметрами

Перехідну систему можна представити у вигляді:

$$\begin{cases} x = x_c + r^* \cos(\theta) \\ y = y_c + r^* \sin(\theta) \end{cases}$$

де  $(x, y)$  декартові координати відповідних полярних координат  $(r, \theta)$ .

## ВИСНОВКИ

В перспективі подальших досліджень буде розглянуто та математично описано інші дефекти трубочки такі як пігментація, наявність плівки, відхилення діаметра, відхилення довжини, закінчення тріщини, внутрішні тріщини, подряпини, плями, злами з метою створення математичної моделі автоматизованого контролю параметрів якості виробів типу тіла обертання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Desmond K. et al.: A machine vision algorithm for quality control inspection of gears. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 106(1-2), 2020, 105–120.
- [2] N. Stelmakh, I. Mastenko, O. Sulima, & T. Rudyk, “Features of the implementation of computer vision in the problems of automated product quality control”, Informatyka, Automatyka, Pomiarowy W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 13(1), pp. 38-41, 2023. DOI: 10.35784/iapgos.3434
- [3] Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2016. - 192 с.
- [4] Mastenko I. V., Stelmakh N. V.: Generative design of a frame type construction. KPI Science News 2, 2021, 81–89 [http://doi.org/10.20535/kpissn.2021.2.236954]. Guo Y. et al.: Rotational projection statistics for 3D local surface description and object recognition. International journal of computer vision 105(1), 2013, 63–86.

УДК 621.91

*О.В. Матошин, студент гр. ПБ-21мн, к.т.н., доц. Вислоух С.П.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПРОГНОЗУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА РОЗШАРУВАННЯ ОТВОРІВ В ДЕТАЛЯХ ІЗ ВУГЛЕПЛАСТИКУ**

**Анотація.** Розглядаються питання визначення коефіцієнта розшарування отворів при свердлінні деталей із вуглепластику. Пропонується вимірювати осьову силу в процесі свердління отворів в даному матеріалі і за цим значенням визначати коефіцієнт розшарування отвору при поточних значеннях режимів різання. Надано схему експериментальної установки для вимірювання осьової сили різання при отриманні залежності розшарування від режимів оброблення. Показано, що використання автоматизованої системи контролю розшарування отворів при свердлінні вуглепластику дозволить оптимізувати технологічний процес за продуктивністю при забезпеченні необхідних значень параметрів якості обробленої поверхні.

**Ключові слова:** вуглепластик, свердління отворів, режими різання, осьова сила, параметри якості, коефіцієнт розшарування, автоматизована система контролю, моделювання, оптимізація, продуктивність.

### **ВСТУП**

Деталі із вуглепластику мають широке застосування в авіаційній та аерокосмічній промисловості завдяки їх високій міцності та великому співвідношенню жорсткості до маси, стійкості до втоми та корозії [1-3].

Найбільш застосовною операцією оброблення деталей з вуглепластику є свердління отворів. Встановлено, що внаслідок притаманній багатофазності вуглепластику цей процес більш складний в порівнянні з процесом свердління традиційних конструкційних матеріалів. В процесі різання свердло має по чергово проходити через матрицю і волокно (наповнювач), які мають різні властивості. Через високу швидкість деформації неоднорідного матеріалу в процесі свердління вуглепластику розподіл навантаження між матрицею та волокном є нерівномірним, що призводить до серії руйнувань у композитному матеріалі. Тому важливим є визначення оптимальних режимів різання, що забезпечить задані параметри показники якості (розшарування та шорсткість поверхні) отриманого отвору.

Оцінювання різних режимів свердління виконується за прийнятими вихідними параметрами: осьовою силою, крутним моментом, якісними характеристиками, зносом інструменту та ефективністю. При свердлінні композиційних матеріалів основним дефектом на поверхнях отворів є розшарування. Розшарування спричиняє серйозні структурні пошкодження матеріалів та значне погіршення роботи механічних частин виробу, що призводить до відбраковування деталей під час їх складання.

Тому актуальною є задача створення математичних моделей для автоматизованої системи контролю процесу свердління деталей із вуглепластику, що дозволить керувати розшаруванням отвору шляхом корегування режимів різання.

### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Вимірювати значення коефіцієнта розшарування в процесі свердління досить складно, тому пропонується його визначати непрямим методом – шляхом вимірювання осьової сили різання. Для цього необхідно отримати залежність даного параметра від осьової сили, яка вимірюється п'єзоелектричним

динамометром з подальшим підсиленням, і за її значенням визначити коефіцієнт розшарування отвору в оброблюваному матеріалі.

Математичну модель розшарування запропонували Ho-Cheng і Dharan [4], що отримана на основі механіки розшарування отворів. Модель передбачає, що розшарування композиту пов'язане з параметрами свердління та властивостями матеріалу. Завдяки даній моделі можна автоматично підтримувати значення осьової сили нижче критичних значень, за межами яких починається розшарування отворів.

Критичне значення осьової сили ( $P_{крит}$ ) визначається за наступною формулою [4]:

$$P_{крит} = \pi \left[ \frac{8G_{Ic}E_1h^3}{3(1-\nu_{12}^2)} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

де  $G_{Ic}$  – в'язкість міжшарового руйнування, Дж/м<sup>2</sup>;

$E_1$  – модуль пружності, Н/м<sup>2</sup>;

$h$  – товщина необробленого матеріалу під інструментом, мм;

$\nu_{12}$  – коефіцієнт Пуассона.

Для отримання необхідних моделей процесу свердління отворів застосована експериментальна установка, що представлена на рис. 1. Як заготовки в дослідженнях використовували прутки з вуглепластику діаметром 50 мм і товщиною 10 мм. Щільність оброблюваного матеріалу становила 1,1 г/см<sup>3</sup>. Методом формування є ручна укладка із орієнтацією волокон 0/90°.

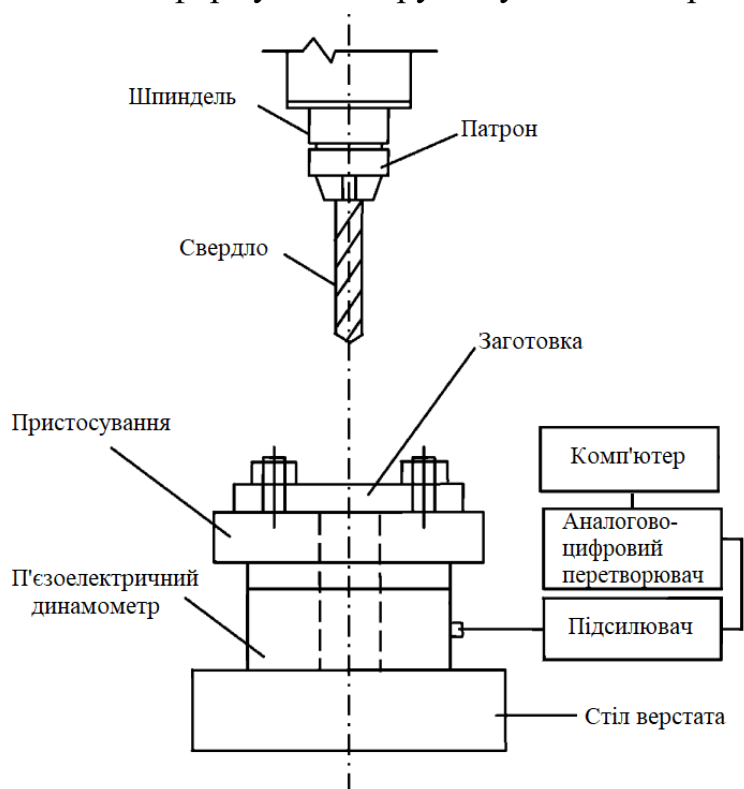


Рисунок 1. Експериментальна установка для свердління деталей із вуглепластику

Операції свердління виконували на свердлильному верстаті з ЧПК (3-осьовий верстат з ЧПК MAXMILL з контролером FANUC OiMate MC, номер моделі CNC 2000EG). Для свердління використовували твердосплавні свердла з покриттям TiAlN діаметрами 6, 8 і 10 мм [5].

Деталі для оброблення закріплювали в жорсткому пристосуванні, прикріпленому до динамометра Kistler, який у свою чергу встановлювали на столі верстата. Сигнал вихідної осьової сили підсилювали підсилювачами Kistler і після АЦП отриману інформацію оброблювали на комп'ютері з використанням відповідного

програмного забезпечення.

За результатами експериментів отримано математичну залежність осьової сили від режимів свердління та діаметра отвору з використанням методу групового врахування аргументів засобами програми GMDH Shell DS з подальшим спрощенням даної моделі шляхом підстановки коефіцієнтів у загальне рівняння:

$$P = 0,17563 \cdot n - 374,454 \cdot d - 7,72357 \cdot S + 573,98 \cdot S^{1/3} + 4672,8693 \cdot d^{1/3} - 126,7096 \cdot n^{1/3} - 6567,829 \quad (2)$$

де  $n$  – кількість обертів шпинделя, об/хв;

$d$  – діаметр отвору, мм;

$S$  – подача свердла, мм/хв.

З отриманої залежності видно, що на осьову силу найбільший вплив має діаметр отвору. Це очевидно, тому що збільшення діаметра отвору збільшує значення осьової сили. Оскільки загальний ефект кількості обертів шпинделя менший в порівнянні з подачею, то для отримання необхідних показників якості поверхні отвору доцільно керувати подачею свердла. Порівняльні значення прогнозованого та реального значень осьової сили наведено на рис. 2.

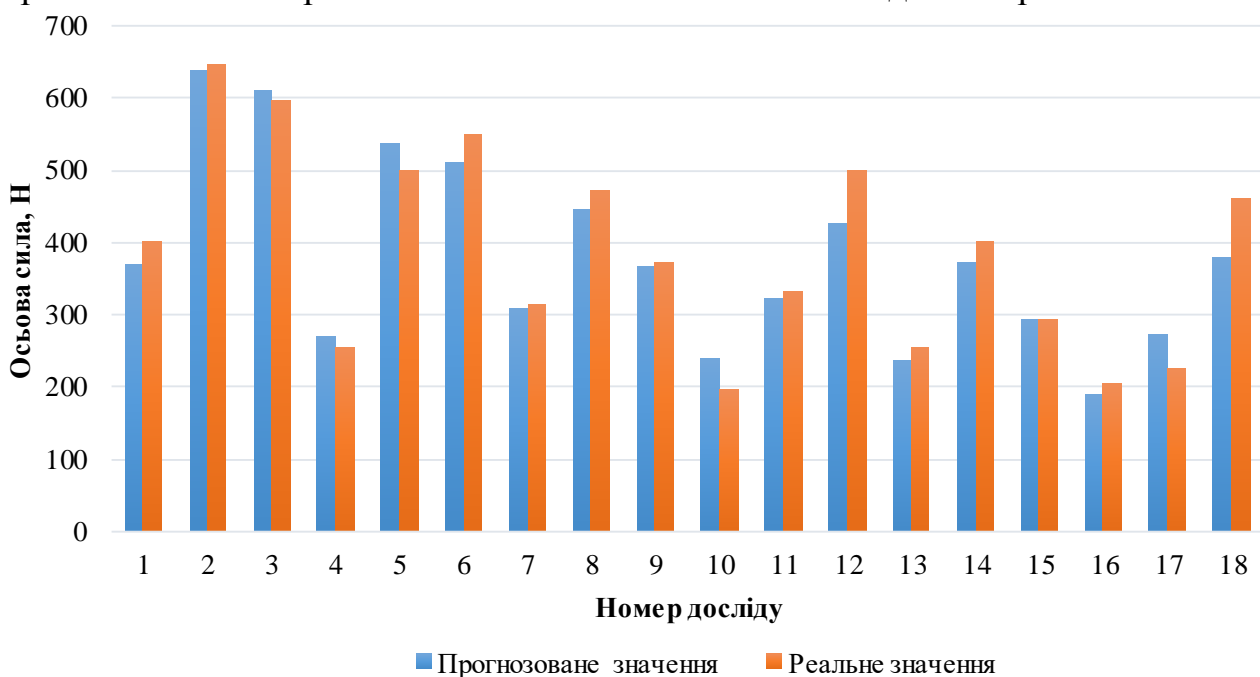


Рисунок 2. Діаграма прогнозованого та реального значення осьової сили

Для реалізації процесу контролю параметрів якості оброблюваної поверхні отримали математичну модель залежності максимального коефіцієнта розшарування від осьової сили. Максимальний коефіцієнт розшарування визначали як максимальне значення від значень розшарувань на вході та виході свердла із оброблюваного матеріалу. При цьому використано поліноміальну регресію 4 порядку (рис. 3) у середовищі Matlab, що побудована на методі найменших квадратів:

$$K_{розш, \max} = -5.231685e-12F^4 + 1.046342e-08F^3 - 7.016552e-06F^2 + 0.0018712F + 0.8805905 \quad (3)$$

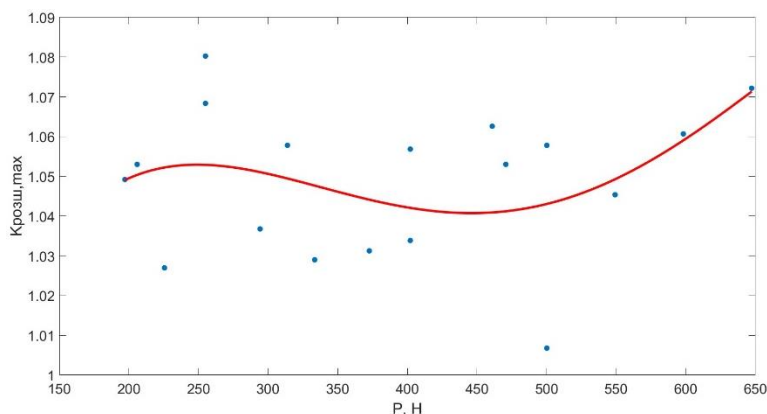


Рисунок 3. Графік отриманої залежності розшарування від осьової сили

В результаті статистичної обробки інформації можна стверджувати, що при підвищених обертах шпинделя, найменша подача та найменший діаметр свердла можуть забезпечити мінімальне значення осьової сили та мінімальний коефіцієнт розшарування.

Проте сучасне виробництво має за кінцеву

мету не просто якість, а й отримання продукції з мінімальними витратами, яка виготовляється за найбільш короткий час з дотриманням заданих показників якості. Відповідно, автоматизована система контролю повинна реалізувати свердління швидше та дешевше (максимальну швидкість видалення матеріалу) з забезпеченням необхідних параметрів якості виробу.

Математична модель для визначення продуктивності процесу свердління основана на максимальній швидкості видалення матеріалу [6]. Продуктивність оброблення ( $\text{мм}^3/\text{хв}$ ) можна розрахувати за наступною формулою:

$$N = \frac{(m_3 - m_0)}{\rho \cdot t}, \quad t = \frac{l}{S}, \quad (4)$$

де  $m_3$  – маса заготовки, кг;

$m_0$  – маса деталі, кг;

$\rho$  – щільність матеріалу,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

$t$  – час оброблення, хв.

$l$  – шлях різання, мм;

$S$  – подача свердла, мм/хв.

Таким чином, отримаємо математичну модель процесу свердління отворів у вуглепластику, що включає задачу визначення режимів різання, які мають найбільшу продуктивність при забезпеченні заданих параметрів якості поверхні за коефіцієнтом розшарування та шорсткістю поверхні.

## ВИСНОВКИ

Встановлено, що для оптимізації процесу свердління отворів в вуглепластиках доцільно використовувати автоматизовану систему контролю параметрів якості.

Для створення автоматизованої системи контролю обґрунтовано отримання математичних залежностей параметрів якості отриманих поверхонь від режимів різання.

Запропонована установка для проведення експериментальних досліджень дозволяє отримати необхідну інформацію для створення математичних моделей параметрів якості при свердлінні отворів.

В результаті оброблення результатів експериментальних досліджень

отримано математичні залежності осьової сили від режимів різання та коефіцієнта розшарування від подачі, що дозволяють сформувати математичну модель процесу свердління отворів у вуглепластику.

За отриманими залежностями осьової сили від режимів різання та діаметра отвору, а також розшарування – від осьової сили запропоновано реалізувати зворотний зв'язок в автоматизованій системі керування процесом свердління деталей із вуглепластику. За таким зворотним зв'язком можна підтримувати необхідні значення розшарування та шорсткості поверхні отвору при свердлінні з максимальною продуктивністю.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Матошин О. В., Вислоух С. П. Автоматизований контроль процесу свердління деталей із вуглепластику. XII Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент»; Житомир, 9-10 листопада 2023 р.
- [2] Матошин О. В., Вислоух С. П. Автоматизоване керування процесом оброблення композиційних матеріалів. Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ–2023): тези 23-ї міжнар. наук.-техн. конф., Харків – Одеса, 20-22 вересня 2023 р., 2023. – С. 70.
- [3] Wang Q., Jia X. Optimization of cutting parameters for improving machining quality and production rate in drilling of CFRP composites. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-479219/v1>
- [4] Ho-Cheng H., Dharan C. K. H. Delamination During Drilling in Composite Laminates. Journal of Engineering for Industry. 1990. Vol. 112, no. 3. P. 236–239. URL: <https://doi.org/10.1115/1.2899580>
- [5] Abhishek K., Datta S., Mahapatra S. S. Optimization of thrust, torque, entry, and exist delamination factor during drilling of CFRP composites. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol. 76, no. 1-4. P. 401–416. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6199-3>
- [6] Abhishek K., Datta S., Mahapatra S. S. Optimization of MRR, Surface Roughness, and Maximum Tool-Tip Temperature during Machining of CFRP Composites. Materials Today: Proceedings. 2017. Vol. 4, no. 2. P. 2761–2770. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.154>

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Вислоух С.П.*

**UDC 621.9.08:658.562**

*Bogdan Melnychuk, student gr. PB-2Imp, Assoc. Prof. Vadym Shevchenko.*  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

## **AUTOMATED SYSTEM FOR CONTROLLING THE SURFACE ROUGHNESS PARAMETERS OF PARTS IN THE CONDITIONS OF «UNMANNED TECHNOLOGY»**

**Annotation.** The paper presents an automated system for controlling surface roughness parameters by an optical method, namely, the method of chromatic confocal sensing, with in-situ measurements. A schematic diagram and a block diagram of an automated system for controlling the surface roughness parameters of parts in the conditions of "unmanned technology" have been developed.

**Keywords:** surface roughness parameters, automated control system, unmanned technology.

### **INTRODUCTION**

Previous studies have shown that the operational characteristics of devices parts, in particular those that affect wear resistance, strength, tightness of joints, chemical resistance, and reliability of the instrument, directly depend on the parameters of the surface roughness of the parts [1], so surface treatment of instrumentation parts with specified roughness parameters is very important.

Conventional methods of measuring roughness are difficult to use for parts with complex geometric shapes and small dimensions, which are the most common in instrumentation. Measurements performed by contact methods are not suitable for parts made of soft materials. In addition, to measure roughness parameters, it is necessary to remove the part from the machine, install it in a corresponding device, and then remove it from the measuring unit again. These actions increase the duration of the production process. In order to increase economic efficiency and improve measurement accuracy, an automated system for monitoring the surface roughness of parts using the chromatic confocal sensing method was developed.

### **METHODS OF MEASURING**

Roughness measurement methods are divided into two types: contact and non-contact. Some of the non-contact methods allow measuring roughness only indirectly, such as temperature, pneumatic, and ultrasonic. Optical methods allow to measure directly the microgeometry of the surface, and, accordingly, to measure the roughness parameters [2]. One of these methods is the confocal chromatic sensing method. The advantage of this method is high axial resolution, measurement speed, and measurement accuracy, because, theoretically, the light wave is infinitely divisible, so the accuracy depends only on the resolution of the lens and the spectrometer used.

The surface geometry is measured using the confocal chromatic sensing method [3], the schematic diagram of which is shown in Fig. 1.

The principle of operation of the optical component of the roughness control system is as follows: the light source 1, which contains a spherical mirror, focuses the light so that it passes through the input aperture 2 with a hole size of 1 mm. After passing through the aperture 2, the light passes through a translucent mirror, which serves here as a beam splitter 3 50:50, then the light enters the objective 4, after passing through the lens 4, the light is decomposed into a spectrum and only one wavelength  $\lambda_j$  is focused on the tested surface 5. Then the focused light is reflected back and after

passing through the objective 4 falls on the beam splitter 3, from here, part of the light reflected from the surface returns back to the source 1, and part enters the direction of the output aperture 6. Its role is to filter out the unfocused wavelengths and let only the part of the light that is focused through. The filtered light enters the collimator lens 7 and then enters the spectrometer lens, resulting in a signal that shows a clear peak for a certain light wavelength  $\lambda_j$ .

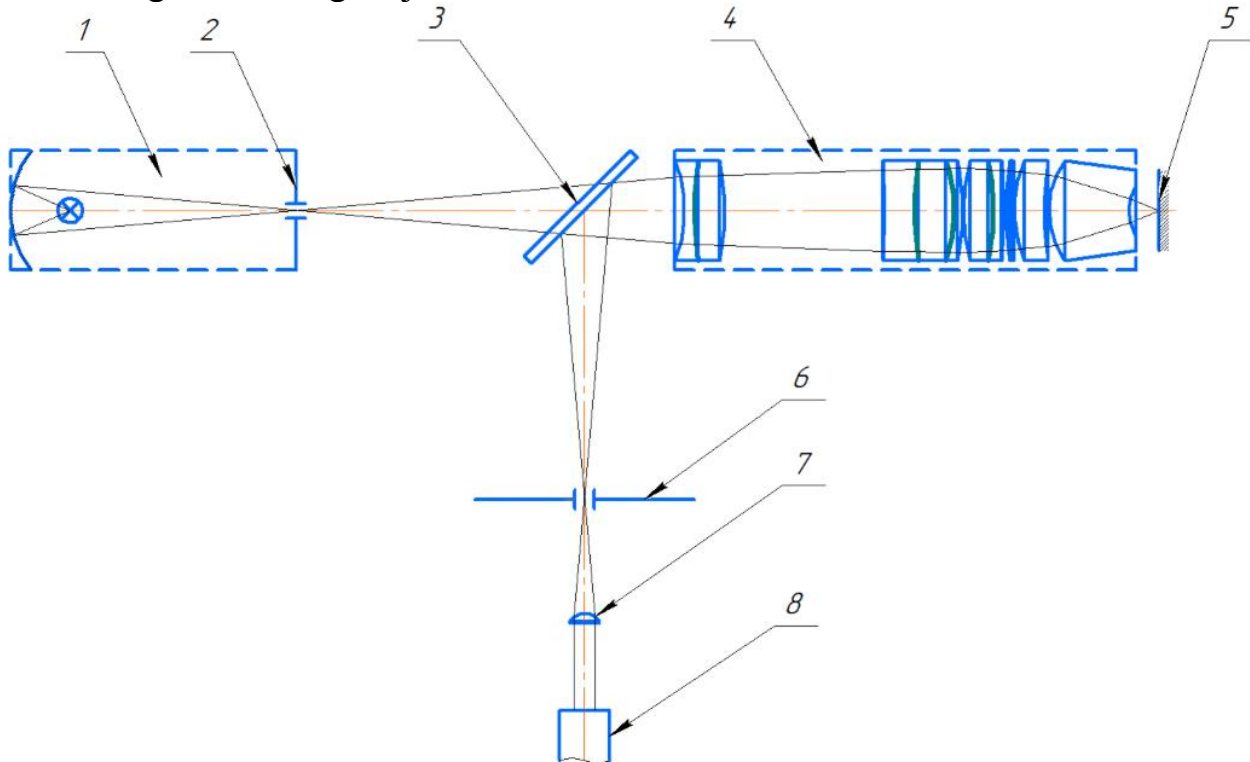


Fig. 1. Schematic diagram of the optical component elements of the roughness control system: 1 - light source; 2 - input aperture; 3 - beam splitter 50:50; 4 - microscope objective; 5 - tested surface; 6 - output aperture; 7 - collimator lens; 8 - spectrometer objective.

As the probe moves along the tested surface, while the surface is within the extreme focal lengths, peak values will appear on the spectrometer at each measurement point. Knowing the focal length for each wavelength and based on the measurement results, an image of the surface geometry, or profilogram, can be created from which roughness parameters can be calculated.

The advantages of the confocal chromatic sensing method are high accuracy, the ability to measure roughness parameters on inclined surfaces, the absence of shadow zones, no influence of ambient temperature, stability, since light is not affected by electromagnetic interference, and this method can also be used to measure the thickness of thin transparent films [4].

The algorithm for measuring the surface roughness parameters of parts is as follows: first, the user enters the base length or roughness class at the setup stage. After that, the corresponding measurement modes are read from the microcontroller's memory. Next, the LED and spectrometer are powered on. Before starting roughness measurements, the sensor will first measure the received spectrum to ensure that it is within the extreme focal lengths. If the sensor is too close or too far away from the surface of the surface to be examined, the positioning error will be estimated and the distance will be corrected. Otherwise, the mechanism will start moving along the tested



surface. After the movement starts, the measurement of the spectrum reflected from the surface begins. During the measurement, the program works in a cycle, constantly recording the obtained peak value of the spectrum and checking the condition for the end of the measurement. The exit condition is the end of the base segment. And when it occurs, the command to stop measurements and movement is executed, then the power supply of the spectrometer and LED is turned off. After that, the computer analyses the data, displays the calculated roughness parameters and profilogram or records them in the memory.

The block diagram of the automated system for controlling the surface roughness parameters of parts is shown in Fig. 2.

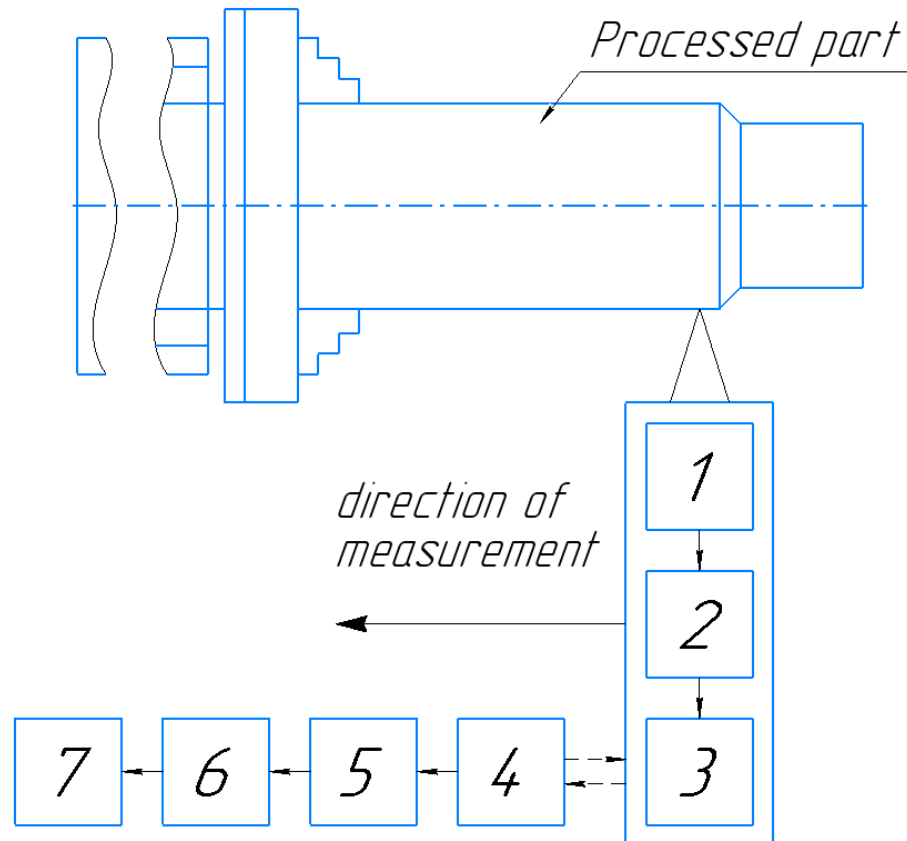


Figure 2. Block diagram of an automated system for monitoring surface roughness parameters of parts

Block 1 is the optical component of the automated system, which includes a white light source, an objective lens, a beam splitter, an aperture, and a spectrometer. The latter has a minimum integration time of  $50 \mu\text{s}$ , which allows for measurements with a frequency of up to 20 kHz. The caliper speed is set depending on the oriented roughness class or on the base measurement length (0.25-4 mm/s). During the measurement, the spectrometer measures the spectrum of the returned light and records the peak value of the spectrum at each time point in the memory (Block 2). Upon completion of the measurement, the recorded values are transmitted via a wired or wireless communication interface (Block 3 and Block 4) to a computer (Block 5). The latter calculates the roughness parameters and, using the comparison unit (Unit 6), assesses whether the measured roughness parameters correspond to the specified ones. The last step is the output of the results (Block 7). There is also a feedback loop between the spectrometer and the computer, which allows the computer to give a command to start

and end the measurement.

Compared to the profilograph, the chromatic confocal sensing method has an average error of about 5% [5]. This makes it possible to measure the surface roughness with high accuracy with a Ra parameter of 0.2-0.7 [6]. This accuracy meets the production needs of instrumentation.

## CONCLUSION

The developed automated system for monitoring the surface roughness parameters of parts can be used on CNC machines in the conditions of "unmanned technology". The introduction of such a system into production will make it possible to measure roughness parameters for parts of complex geometric shapes and small sizes, as well as those made of soft materials with high accuracy. This system will also increase production productivity and reduce costs by reducing the number of defective parts of the devices, as the measurements are carried out in an automated mode and without removing the part from the machine.

## REFERENCES

- [1] Остаф'єв В.А., Тимчик Г.С., Шевченко В.В. Адаптивна система управління. *Механізація і автоматизація управління*.—Київ.— 1983, с.18-20.
- [2] Quinsat Y., Tournier C. In situ non-contact measurements of surface roughness. *Precision Engineering*. 2012. Vol. 36, no. 1. P. 97–103. URL: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2011.07.011> (date of access: 30.11.2023).
- [3] Мельничук Б. П., Шевченко В. В. Комплексна система контролю процесу обробки деталей приладів в автоматизованому виробництві. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 34 (73), №2, 2023. – с.193 – 198. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.1/31>
- [4] Chromatic Confocal Sensor Vs. Laser Displacement Sensor. Chromatic Confocal Sensor Manufacturer. URL: <https://www.geramtech.com/chromatic-confocal-sensor-advantages/> (date of access: 30.11.2023).
- [5] Yandayan T., Burdekin M. In-process dimensional measurement and control of workpiece accuracy. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1997. Vol. 37, no. 10. P. 1423–1439. URL: [https://doi.org/10.1016/s0890-6955\(97\)00019-9](https://doi.org/10.1016/s0890-6955(97)00019-9) (date of access: 04.12.2023).
- [6] Advantages of chromatic-confocal spectral interferometry in comparison to chromatic confocal microscopy / W. Lyda et al. *Measurement Science and Technology*. 2012. Vol. 23, no. 5. P. 054009. URL: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/23/5/054009> (date of access: 04.12.2023).

*Supervisor – PhD, Assoc. Prof. Shevchenko V.V.*

**УДК 681.57**

*Д.С. Мирза, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Філіпова М.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯЦІЙНИМИ РОБОТАМИ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО ОБ'ЄКТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**Анотація.** В статті розглянуто можливості розроблення автоматизованої системи управління маніпуляційними роботами на базі математичного об'єктного моделювання. Акцент робиться на необхідності системного підходу до управління складними механоскладальними роботами в умовах швидкозмінюючихся виробничих середовищ. Використання математичних моделей гарантує деталізований аналіз та оптимізацію характеристик об'єктів, що забезпечує точне та гнучке управління.

**Ключові слова:** математична модель, маніпуляційна система, рівняння руху, метод Лагранжа-Ейлера

### **ВСТУП**

У сучасному світі прискореного технічного розвитку досягнення оптимальних результатів у скороченні термінів та підвищенні якості процесів виробництва стає вкрай важливим завданням. Один із ключових напрямків досягнення цієї мети - використання автоматизованих систем управління маніпуляційними роботами на основі математичного об'єктного моделювання [1].

Технологічні процеси механоскладальних робіт вирізняються складністю та великою кількістю елементів, взаємозв'язків між якими. Традиційні методи аналізу цих об'єктів часто не можуть ефективно моделювати їх характеристики. У цьому контексті математичне об'єктне моделювання надає можливість створювати докладні та точні моделі, описуючи функції, багаторівневу організацію та структуру складних об'єктів та процесів

Особливу увагу варто приділити розробці математичних моделей на основі системного підходу до об'єктів виробництва та технологічних процесів. Це сприяє не лише підвищенню точності та продуктивності, але й створює можливість для гнучкого та адаптивного управління маніпуляційними роботами.

Важливим етапом у розвитку автоматизованих систем є напрямок генерації технологічно-раціональних послідовностей формування складальної одиниці за допомогою автоматизованого синтезу. Врахування математичних моделей у цьому контексті робить процес автоматизованого побудови технологічного процесу складання більш ефективним, допомагаючи враховувати різноманітні параметри та обмеження.

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою даної роботи є розроблення теоретичних засад і методів побудови автоматизованої системи керування маніпуляційними промисловими роботами на основі математичного моделювання, які дають змогу враховувати й аналізувати вплив різного роду відхилень і збурень, що ґрунтуються на єдиній методології та об'єктно-орієнтованому підході, та розкривають можливості паралельних обчислень і синтезу моделі керування, що виконують шляхом її реконфігурації, із застосуванням процедур самодіагностики й оптимізації, побудованої на основі генетичного підходу.

## МЕТОДИ ТА ЗАВДАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ В УПРАВЛІННІ МАНІПУЛЯЦІЙНИМИ РОБОТАМИ

Автоматизація виробничих процесів у різних галузях промисловості нерозривно пов'язана з використанням роботів. Роботи дозволяють швидко переключати виробництво від виконання одних технологічних операцій до інших, що дозволяє вчасно вносити зміни в виробництво [2]. Основна функція маніпуляційних роботів полягає в виконанні транспортних операцій з переміщення різних об'єктів в просторі, таких як деталі або робочі інструменти.

Механічна частина робота, яка забезпечує його функцію з переміщення об'єктів в просторі, має необхідну кількість ступенів свободи і називається маніпуляційною системою. Дослідження роботів як складних механізмів, що виконують задані (програмовані) рухи в просторі, сводиться до вивчення рухів їх маніпуляційних систем (рис. 1).

Термін "маніпуляційна система" відноситься до теорії механізмів і машин і охоплює виконавчі механізми робота, включаючи маніпулятор, приводи та передавальні механізми. Можна розглядати маніпуляційну систему робота як систему тіл в термінах теоретичної механіки.

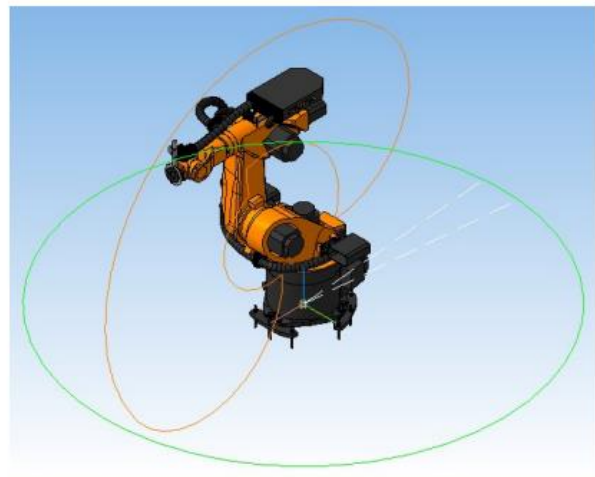
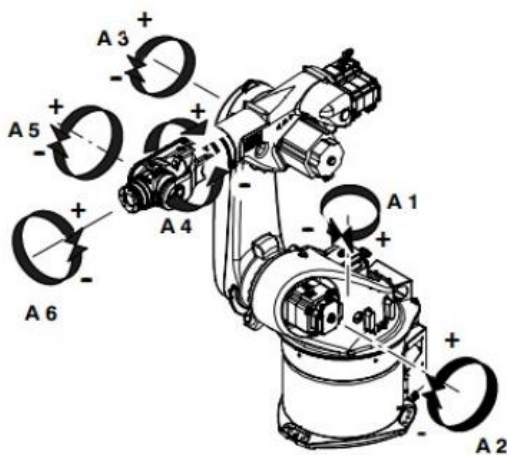


Рисунок 1. Маніпуляційна система робота (A1-A6 - ступені рухливості робота)

Маніпуляційні системи роботів являють собою багатоланкові механізми, що мають послідовну розімкнуту кінематичну структуру. Для опису структур маніпуляційних систем використовують метод графів. Граф складається з вершин (точок), яким відповідають ланки механізму, і ребер ліній), що з'єднують вершини, яким відповідають шарніри, що з'єднують між собою ланки в механізмі. Маніпуляційним системам відповідають деревоподібні структури графів (рис. 2).

## МЕТОДИ СКЛАДАННЯ РІВНЯНЬ РУХУ

Рівняння руху маніпуляційних систем можуть бути побудовані відомими методами теоретичної механіки. Під час вибору методу необхідно враховувати, що процес і результати моделювання динаміки маніпуляційних систем істотно залежать від математичних моделей, що містять рівняння руху, одержувані на основі того чи іншого методу [3].

Складність при створенні динамічної моделі МР полягає в необхідності

запису рівнянь динаміки руху маніпулятора в формі, найбільш підходящою для її подальшої реалізації в системах керування. Більшість існуючих методів ґрунтується на рівняннях Лагранжа, Ньютона-Ейлера, Д'Аламбера, Апеля.

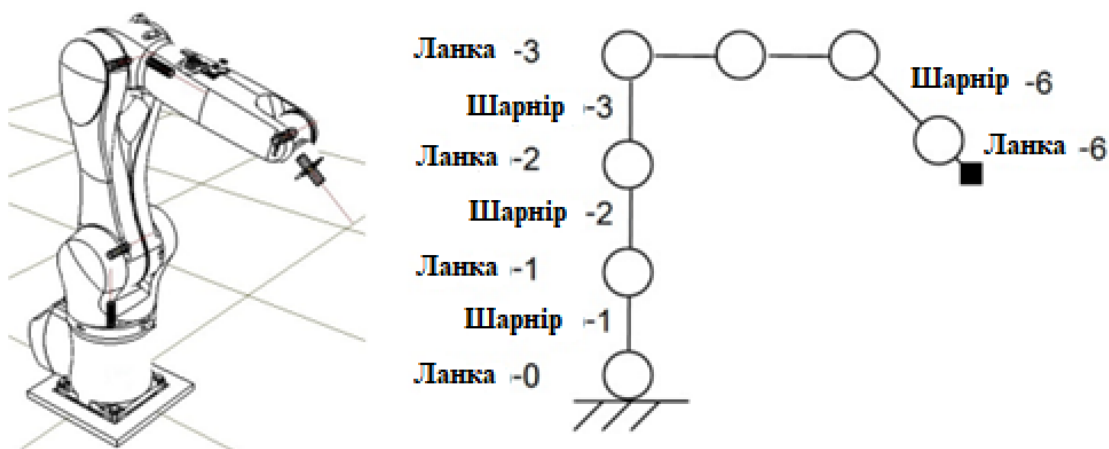


Рисунок 2. Маніпуляційна система робота та її граф

Так, метод Лагранжа–Ейлера використовує рівняння Лагранжа другого роду та базується на виразі кінетичної енергії маніпуляційних систем через загальні координати:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial E}{\partial q_i} = Q_i, \quad i = (1, \dots, n), \quad (1)$$

де  $E$  - повна кінетична енергія маніпуляційної системи;  $Q_i$  – узагальнена сила, що відповідає  $i$ -й узагальненій координаті;  $q_i$  -  $i$ -а узагальнена координата.

Метод дозволяє ефективно моделювати динаміку руху системи та отримувати рівняння руху в узагальнених координатах.

У процесі використання методу Лагранжа–Ейлера обчислюють кінетичну та потенціальну енергію кожного звена маніпуляційної системи. Після цього застосовують принцип віртуальної роботи, щоб отримати рівняння руху відносно узагальнених координат [4]. Цей метод відомий своєю математичною точністю та здатністю враховувати складні взаємодії між різними частинами системи.

Метод Лагранжа–Ейлера є потужним інструментом для моделювання та аналізу динаміки маніпуляційних систем, і його основна перевага полягає в здатності враховувати складні моменти та сили в системі, забезпечуючи точні та достовірні результати.

Для опису динаміки маніпуляційних систем крім рівняння Лагранжа (1) можна використовувати рівняння Апеля, до якого входить функція Гіббса, що визначає енергію прискорення системи [5]:

$$\frac{\partial G}{\partial \ddot{q}_i} = Q_i, \quad i = (1, \dots, n), \quad (1)$$

де  $G$  - функція Гібса,  $Q_i$  – узагальнена сила;  $q_i$  -  $i$ -а узагальнена координата. Рівняння Апеля має ліву частину, аналогічну лівій частині рівняння

Лагранжа. Цей результат відображає спільність енергетичного підходу до моделювання динаміки маніпуляційних систем.

## **ВИСНОВОК**

Використання математичного об'єктного моделювання у системах управління маніпуляційними роботами має великий потенціал для оптимізації технологічних процесів, підвищення продуктивності та якості планування виробничих процесів в цілому. Ця стратегія може значно поліпшити ритмічність виробництва, скоротити терміни освоєння нових виробів та підвищити загальну ефективність виробничих підприємств.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] В.В. Білий, В.М. Кухарчук, В.В. Кісельов. Математичне моделювання технологічних процесів механоскладальних робіт: підручник. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 256 с.
- [2] Омельченко А.М., Омельченко В.М., Клімов В.В. Розробка системи управління маніпуляційними роботами // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Інформаційні технології". – 2016. – № 53. – С. 63-71.
- [3] Комп'ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / С. П. Вислоух, О. В. Волошко, Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл 37,37 МБайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 228 с..
- [4] R. Featherstone, D. Orin, Robot Dynamics: Equations and Algorithms, Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation, San Francisco, CA, April 2000
- [5] Вислоух С. П., Філіппова М. В. Інформаційні основи проектування технології механоскладальних робіт в приладобудуванні. Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування : збірник наукових праць. 2004. № 28. С. 139–144  
*Наук. керівник – к.т.н., доц. Філіппова М.В.*

УДК 681.5

*Є.В. Панкратов, аспірант гр. ПБ-31ф*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ: ВПЛИВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ НА ІННОВАЦІЇ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ**

*Анотація.* Стаття присвячена вивченню впливу цифрової трансформації на інновації та конкурентоспроможність в галузі приладобудування. Основний фокус розміщений на аналізі автоматизованих виробничих систем і їхньому позитивному впливі на підвищення ефективності та створення інтелектуальних гнучких систем. Висвітлені результати власних досліджень та світових практик, що дозволяють розкрити потенціал цифрової трансформації в приладобудуванні.

*Ключові слова:* цифрова трансформація, автоматизовані виробничі системи, приладобудування, Ефективність виробничих процесів, технологічний розвиток.

### **ВСТУП**

В умовах стрімкого технологічного розвитку інженерна галузь, зокрема приладобудування, постійно стикається з викликами, пов'язаними із посиленням вимог до ефективності та конкурентоспроможності. На фоні цих трансформацій і вимог сучасності, питання ефективності та автоматизації інженерних рішень у приладобудуванні визначає ключові напрямки подальшого розвитку галузі.

Цифрова трансформація в приладобудуванні стає об'єктивною необхідністю, що впливає на всі аспекти виробництва. Особливу увагу заслуговують автоматизовані виробничі системи та технології, які дозволяють не тільки оптимізувати виробничі процеси, але і створювати нові можливості для інноваційного розвитку.

У цьому контексті стаття спрямована на вивчення впливу автоматизованих виробничих систем на інновації та конкурентоспроможність у сфері приладобудування. Акцент зроблено на аналізі та оцінці переваг цифрової трансформації, яка є ключовим кроком у вдосконаленні виробничих процесів та створенні інтелектуальних, гнучких систем.

Спираючись на результати власних досліджень та аналізу світових практик, прагнемо розкрити потенціал цифрової трансформації для приладобудування, висвітлити позитивний вплив автоматизованих систем на підвищення ефективності та стимулювання інноваційного розвитку.

### **АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

На сучасному етапі розвитку приладобудування, галузь стикається з низкою викликів та завдань, що вимагають невідкладних та ефективних рішень. Одним із головних аспектів є підвищення продуктивності та якості виробництва. Нинішні технології вже дозволяють автоматизувати багато аспектів виробництва від концепції до виготовлення, проте необхідно детально проаналізувати стан речей.

#### **2.1 Технічний рівень виробництва**

Перше, на що слід звернути увагу, це технічний рівень виробництва в галузі приладобудування. Актуальність впровадження новітніх технологій та автоматизованих систем у кожному етапі виробничого процесу стає ключовою.

Аналіз існуючих технологічних підходів дозволить визначити прогалини та потенційні можливості для подальшого розвитку.

### 2.2 Виклики та проблеми сучасного приладобудування

Другий аспект включає аналіз викликів та проблем, з якими стикається приладобудування сьогодні. Нестабільність ринку, швидкі зміни вимог споживачів та підвищення конкуренції вимагають ефективних стратегій управління та виробництва. Проведення SWOT-аналізу та ідентифікація ключових факторів дозволять краще розуміти галузь.

### 2.3 Роль людського фактору в автоматизованому виробництві

Третій аспект висвітлює питання взаємодії людського фактору з автоматизованими системами. Навички та компетенції працівників стають важливими для успішного впровадження технологій. Дослідження підходів до підготовки персоналу та вироблення стратегій співробітництва людини з машинами.

Аналіз сучасного стану галузі дозволить краще зрозуміти та оцінити основні тенденції та проблеми, що можуть бути вирішені за допомогою цифрової трансформації та впровадження автоматизованих виробничих систем.

## **ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

Впровадження сучасних інформаційних технологій та автоматизованих систем визначає новий етап у розвитку галузі, де кожен аспект виробництва стає цифровизованим та ефективнішим.

### 3.1 Інтеграція Інтернету Речей (ІоТ) та Сенсорних технологій

Починаючи з аналізу впливу Інтернету Речей та сенсорних технологій на приладобудування, ми розглянемо, як ці інновації дозволяють збирати та обробляти величезні обсяги даних, сприяючи оптимізації виробничих процесів.

### 3.2 Штучний інтелект (ШІ) у приладобудуванні

Важливо розглянути роль штучного інтелекту у вирішенні складних завдань проектування, виробництва та тестування. Алгоритми машинного навчання та системи розпізнавання образів допомагають автоматизувати процеси прийняття рішень та підвищують точність та швидкість виробництва.

### 3.3 Цифрова моделювання та віртуальний проектний процес

Розглядаючи цифрові технології, такі як віртуальне моделювання та віртуальний проектний процес, ми аналізуємо, як вони полегшують процеси розробки та виробництва, редукуючи час та витрати.

### 3.4 Автоматизовані виробничі системи та робототехніка

Останнім аспектом розділу є вплив автоматизованих виробничих систем та робототехніки на приладобудування. Автоматизовані лінії забезпечують ефективне виробництво та можливість масштабування виробничих процесів.

Загальна мета розділу - підкреслити та проаналізувати ключові компоненти цифрової трансформації в приладобудуванні та їх вплив на інновації та конкурентоспроможність галузі.

## **ВПЛИВ НА ІННОВАЦІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

Розглянемо, як цифрова трансформація та впровадження автоматизованих



виробничих систем в приладобудуванні впливають на інноваційність галузі.

#### 4.1 Збільшення швидкості розробки та випуску продукції

Автоматизація виробничих процесів та використання цифрових технологій значно прискорюють процес розробки нових виробів. Це дозволяє компаніям швидше реагувати на зміни у вимогах ринку та випускати інноваційні продукти.

#### 4.2 Підвищення якості та точності продукції

Цифрові технології дозволяють створювати віртуальні моделі та симуляції, що сприяє підвищенню якості та точності проектів. Використання алгоритмів штучного інтелекту також допомагає у виявленні та усуненні помилок на ранніх етапах виробництва.

#### 4.3 Сприяння дослідженням та розвитку

За допомогою цифрової трансформації, приладобудівна галузь стає більш сприятливою для досліджень та розвитку. Впровадження новітніх технологій стимулює інноваційні ідеї та сприяє з'яві нових рішень у сфері приладобудування.

#### 4.4 Гнучкість та адаптивність до змін

Автоматизація дозволяє підприємствам бути більш гнучкими та адаптивними до змін у виробничому середовищі. Завдяки цифровій трансформації, компанії можуть швидко реагувати на нові технологічні та ринкові тенденції.

Загальна мета цього розділу - проаналізувати, як впровадження цифрових технологій та автоматизації виробничих процесів в приладобудуванні сприяє розвитку інновацій та змінює парадигму галузі.

## **КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

В цьому розділі розглянемо, як впровадження автоматизованих виробничих систем та цифрової трансформації впливає на конкурентоспроможність підприємств у галузі приладобудування.

#### 5.1 Зниження витрат та підвищення ефективності

Введення автоматизованих систем сприяє зменшенню витрат на виробництво та підвищенню загальної ефективності процесів. Це дозволяє підприємствам зберігати конкурентоспроможність в умовах зростання вимог ринку та зменшення термінів випуску нових продуктів.

#### 5.2 Підвищення якості продукції та клієнтське задоволення

Автоматизовані системи дозволяють не лише підвищити якість виробів, але й швидше реагувати на зміни у вимогах споживачів. Це важливий фактор для збереження та залучення клієнтів, що безпосередньо впливає на конкурентоспроможність підприємства.

#### 5.3 Гнучкість та адаптивність до ринкових змін

Підприємства, які впроваджують цифрові технології, стають більш гнучкими та адаптивними до ринкових змін. Можливість швидко реагувати на зміни у попиті та технологічному середовищі дозволяє зберігати конкурентну перевагу.

#### 5.4 Розвиток нових бізнес-моделей

Впровадження цифрової трансформації в приладобудуванні сприяє створенню нових бізнес-моделей. Відкриття нових можливостей у виробництві та обслуговуванні, стає додатковим інструментом для залучення клієнтів та підвищення конкурентоспроможності.

## ВИСНОВОК

Цифрова трансформація та впровадження автоматизованих виробничих систем в приладобудуванні є ключовим фактором для підвищення ефективності, стимулювання інновацій та підтримки конкурентоспроможності в цій стратегічно важливій галузі.

Сучасний стану галузі показує, що технічний рівень виробництва, виклики та проблеми, з якими стикається приладобудування, вимагають системного підходу та інтеграції новітніх технологій. Цифрова трансформація стає критичним чинником для оптимізації виробництва, зменшення витрат та забезпечення якості продукції.

Вплив цифрової трансформації на інновації в приладобудуванні вказує на те, що ці технології активно сприяють швидкій розробці та випуску нових продуктів, забезпечуючи високу якість та точність. Крім того, це стимулює дослідження та розвиток у галузі.

Впровадження автоматизації підвищує конкурентоспроможність приладобудівних підприємств. Зменшення витрат, підвищення ефективності та адаптивність до ринкових змін роблять компанії більш гнучкими та здатними швидко реагувати на виклики сучасного бізнес-середовища.

Отже, цифрова трансформація та автоматизація виробництва є невід'ємною частиною еволюції приладобудування, визначаючи нові стандарти ефективності, інновацій та конкурентоспроможності у цій галузі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Панкратов Є. В., «Оцінка достовірності інформації з датчиків при функціонуванні системи автоматизованого керування підвіскою», *Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2022)*.
- [2] Pankratova, N.D., «*Creation of Physical Models for Cyber-Physical Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*», 2020. P.68-77. DOI: 10.1007/978-3-030-34983-7.
- [3] Pankratova N.D., Pankratov V.A. «*Evaluation of information reliability sensors of cyber-physical system* », 15 міжнародна науково-практична конференція "Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2020 " 29 червня - 01 липня, м Чернігів 2020 р Україна. С.256-260.
- [4] Pankratova N.D., «*System strategy for guaranteed safety of complex engineering systems* », *Cybernetics and System Analysis*, 2010, 2(46), 243-251.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Тимчик Г.С.*

УДК 004.9:621.9

С.О. Полуектов, аспірант гр. ПБ-31ф, к.т.н., доц. Безугла Н.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИХ РЕФЛЕКТОРІВ

**Анотація:** У роботі представлені результати розробки блок-схеми запропонованої системи автоматизованого проектування для виготовлення еліпсоїдальних рефлекторів, що забезпечує повний цикл проектування включаючи: оптимізацію геометричних параметрів, абераційний аналіз, створення 3D моделі та формування вихідної документації.

**Ключові слова:** еліпсоїдальний рефлектор, комп'ютерне моделювання, абераційний аналіз, автоматизована система, ЧПК, САПР.

### ВСТУП

Технології стають ключовим чинником розвитку, тому важливо постійно розробляти системи для автоматизації процесів проектування та виготовлення високоточних деталей. Однією з областей, яка вимагає постійного вдосконалення, є системи автоматизованого проектування (САПР) для виготовлення асферичної оптики [1,2].

Еліпсоїдальні рефлектори (ЕР) – оптичні елементи, відбиваюча поверхня яких сформована профілем еліпсоїда. Завдяки своїм унікальним оптичним властивостям, а саме наявності двох фокальних площин, використовуються в багатьох сферах, таких як, біомедична оптика, фотометрія та інші [3–5]. Виготовлення порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів із внутрішньою відбиваючою поверхнею обумовлено технологічними проблемами, через їх складну геометрію. При отриманні дзеркальної поверхні необхідно забезпечити високий рівень точності в умовах обмеженого доступу різця до внутрішньої площини.

Можливим вирішенням проблеми виготовлення порожнистих ЕР є верстати з технологією ЧПК, які дозволяють використовувати програмне керування різанням, точінням та обробленням поверхні, забезпечуючи високу якість кінцевого продукту [6]. Ця технологія дозволяє ефективно враховувати геометричні особливості еліпсоїдальних рефлекторів та виготовляти їх з необхідною точністю.

Однак існуючі методи проектування не відповідають сучасним вимогам тривалості циклу «проектування – виготовлення» [7]. У цьому контексті, проблемою є відсутність повноцінної системи автоматизованого проектування, яка охоплює всі етапи від аналізу аберацій до створення вихідної документації, тому було вирішено розробити структуру запропонованої САПР системи для проектування порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів.

### МЕТА РОБОТИ

Розроблення структурної схеми системи автоматизованого проектування порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів як передумову імплементації процесу їх виготовлення на токарних верстатах з ЧПК.

### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Існує ряд систем САПР, призначених для автоматизованого проектування, включаючи еліпсоїдальні рефлектори. До таких систем можна віднести

AutoCAD, SolidWorks та інші, які надають інструменти для моделювання та аналізу геометричних форм, але не мають функціоналу для проведення абераційного аналізу. Також відсутня можливість формуванні вихідного кресленика еліпсоїдальних рефлекторів різних конфігурації. Аналіз трасувальних властивостей бічної поверхні порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів реалізовано за допомогою програмних забезпечень RTER та RTER 2.0 [4].

На рис. 1 зображена блок-схема запропонованої системи САПР для порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів, яка дозволить візуалізувати взаємозв'язок різних етапів проектування.

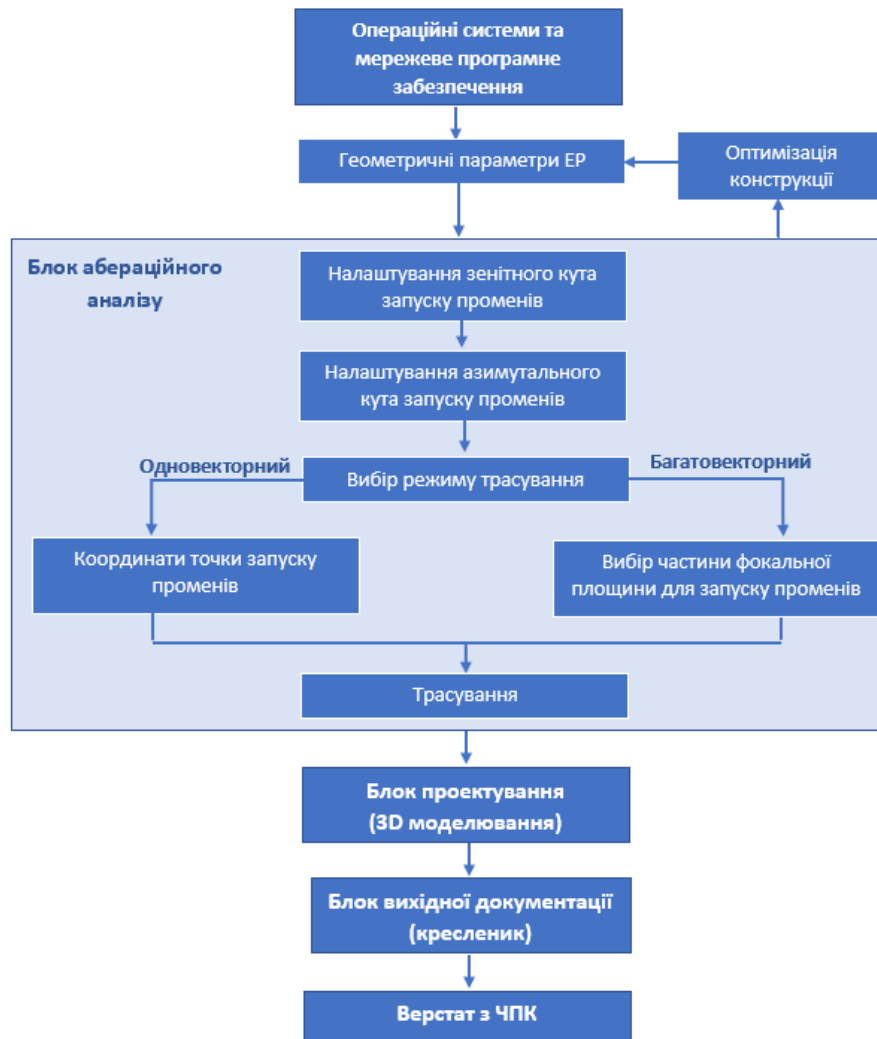


Рисунок. 1 Блок-схема системи автоматизованого проектування порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів

Блок "Операційні системи та мережеве програмне забезпечення" відповідає за визначення оптимальної операційної системи, яка буде підтримувати необхідні функції та забезпечувати надійне та ефективне середовище для роботи запропонованої системи САПР для порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів.

Наступним етапом роботи системи є цикл оптимізації геометричної форми еліпсоїдальних рефлекторів, який реалізовується за рахунок отриманих результатів роботи блоку абераційного аналізу який включає в себе налаштування параметрів та вибору режиму трасування внутрішньої бічної поверхні EP.

Блок проектування в системі САПР для еліпсоїдальних рефлекторів відповідає за створення тривимірних моделей з вибраними конфігураціями та визначеними геометричними параметрами. Блок "Вихідної документації (кресленик)" відповідає за автоматизоване створення вихідної документації на основі раніше розробленої 3D моделі еліпсоїдальних рефлекторів. Цей блок генерує відповідне кресленик, які можуть бути використані для виробництва на ЧПК верстаті.

## ВИСНОВКИ

Запропоновано структуру системи автоматизованого проектування порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів, яка вирішує ряд завдань, дозволяючи аналізувати та оптимізувати геометричні форми, проводити абераційний аналіз, проектувати 3D моделі, формувати вихідну документацію, що забезпечує повний цикл проектування. У подальшому планується реалізація даної системи, що дозволить скоротити тривалість циклу виготовлення еліпсоїдальних рефлекторів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Jorge Angeles, Damiano Pasini, «Fundamentals of Geometry Construction: The Math Behind the CAD (Springer Tracts in Mechanical Engineering)», /Springer; 1st ed./, – 2020. – 188 p.
- [2] Bengtsson, Johan & Nicholls, T. & Rogers, W. «A CAD Tool for Linear Optics Design: A Use Case Approach». – 2021. DOI: 10.18429/JACoW-IPAC2021-MORAB047.
- [3] Безугла Н. В., Полуектов С. О., Чорний В. О., Безуглий М. О. «Монте-карло симуляція світлорозсіяння шарами шкіри людини методами просторової фотометрії» /Вісник КПІ. Серія Приладобудування : збірник наукових праць./ – 2021. – Вип. 61(1). – С. 91-100. – Бібліогр.: 26 назв. DOI: 10.20535/1970.61(1).2021.237112.
- [4] Poluektov S.O., Bezugla N.V., Kurowska-Wilczyńska K., Bezuglyi M.O. «Information system for multi-vector raytracing in ellipsoidal reflectors» / Вісник КПІ. Серія Приладобудування : збірник наукових праць.// – 2023. – Вип. 65(1). – С. 19-28. – Бібліогр.: 25 назв. DOI: 10.20535/1970.65(1).2023.283215.
- [5] Bezugla N.V., Yakovenko I.O., Filippova M.V., Poluektov S.O. «Automated system for photometric images processing of scattering spot» / Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки//– Том 34 (73), № 3, – 2023, – С.64-71. DOI:10.32782/2663-5941/2023.3.1/11.
- [6] Yang, Haicheng & Zhang, Yun-long & Zhang, Feng «Study on grinding of free-form optics surface in three-axis CNC machine.»/ *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*// – 2014, DOI: 10.1117/12.2068429.
- [7] Саєнко С. Ю., Нечипоренко І. В. «Основи САПР» / Навчальний посібник. Харківський державний університет харчування та торгівлі // – 2017. – С.120.

УДК 681.2.089

*Д.М. Проскуренко, аспірант гр. ПБ-21ф, д.т.н., проф. Безуглий М.О.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СТРУКТУРНА СХЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КАЛІБРУВАННЯ РЕЗЕРВУАРІВ

**Анотація.** Стаття присвячена розгляду структурної схеми автоматизованої системи калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів. Запропонована система включає такі ключові компоненти, як блок лазерного сканування, інформаційна система та модулі обробки даних. Описано функції кожного елемента схеми, починаючи від отримання даних лазерним скануванням до створення калібрувальної таблиці. Кожен компонент системи виконує важливу роль у забезпеченні надійного контролю рівня рідини чи газу в резервуарах. Описана структура відкриває перспективи для покращення контролю за рівнем рідини та відповідає вимогам сучасного індустріального середовища, зокрема застосування в індустріальних секторах для підвищення ефективності та точності процесів калібрування.

**Ключові слова:** структурна схема, автоматизована система, калібрування, резервуар, лазерне сканування, інформаційна система.

### ВСТУП

В сучасних індустріальних умовах, забезпечення точності та ефективності калібрування резервуарів визначається необхідністю забезпечення надійного контролю рівня рідини чи газу в їхньому внутрішньому просторі[1]. У зв'язку з цим, розробка та впровадження автоматизованих систем калібрування резервуарів стає актуальним завданням. Однією з ключових складових таких систем є їхня структурна схема, що визначає взаємодію компонентів та потік інформації. У даній статті розглядається структурна схема автоматизованої системи калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів, що використовує геометричний метод вимірювань.

### МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розроблена структурна схема автоматизованої системи калібрування резервуарів (рис.1) ілюструє ключові компоненти та етапи автоматизованої системи калібрування резервуарів. Визначені елементи схеми взаємодіють, формуючи цілісний процес, який забезпечує точність та ефективність вимірювань геометричних параметрів резервуарів. Дана система описує використання передових технологій для надійного виконання процедури калібрування, починаючи від отримання даних лазерним скануванням і закінчуючи генерацією файлу калібрування. Нижче подано опис кожного елемента розробленої структурної схеми.

1. Блок лазерного сканування
  - Опис: цей компонент відповідає за сканування зовнішньої або внутрішньої сторони, висоти та товщини сталевого циліндричного горизонтального резервуара для збору даних вимірювань [2].
  - Функція: фіксує геометрію поверхні резервуара.
  - Вихід: файл, що містить представлення хмари точок поверхні резервуара.
2. Блок інформаційна система
  - Опис: інформаційна система відповідає за керування загальним процесом, координацію потоку даних і полегшення взаємодії користувачів.

- Функції:
  - Організація всього процесу калібрування.
  - Координація передачі даних між блоком лазерного сканування та модулем обробки даних.
  - Надання інтерфейсу користувача для керування та моніторингу системи.
- Входи: файл, що містить представлення хмари точок поверхні резервуара.
- Виходи: калібрувальна таблиця.
- Модулі:
  - а) Модуль обробки даних
    - Опис: даний модуль обробляє дані, отримані від блоку лазерного сканування, і виконує різні обчислення.
    - Функції:
      - Визначення циліндричної частини резервуара.
      - Визначення днищ резервуарів.
      - Обробка результатів вимірювань при визначенні геометричних параметрів циліндричної деталі.
      - Обробка результатів вимірювань при визначенні геометричних параметрів днищ резервуарів.
      - Обробка результатів калібрування.
      - Вхідні дані: файл даних хмари точок із пристроєм лазерного сканування.
      - Виходи: проміжні дані, пов'язані з геометричними параметрами та результатами калібрування.
  - б) Модуль створення калібрувальної таблиці
    - Опис: цей компонент створює калібрувальну таблицю на основі оброблених даних і обчислень.
    - Функція: створює файл, що містить інформацію про калібрування сталевого циліндричного горизонтального резервуара.
    - Входи: оброблені дані з модуля обробки даних.
    - Вихід: файл з калібрувальною таблицею.

Блок лазерного сканування взаємодіє з поверхнею резервуара для отримання даних хмари точок [3]. Інформаційна система керує всім процесом, контролює компоненти та полегшує взаємодію користувачів. Модуль обробки даних отримує дані хмари точок, виконує обчислення та видає проміжні результати. Модуль створення калібрувальної таблиці створює остаточну калібрувальну таблицю на основі оброблених даних.

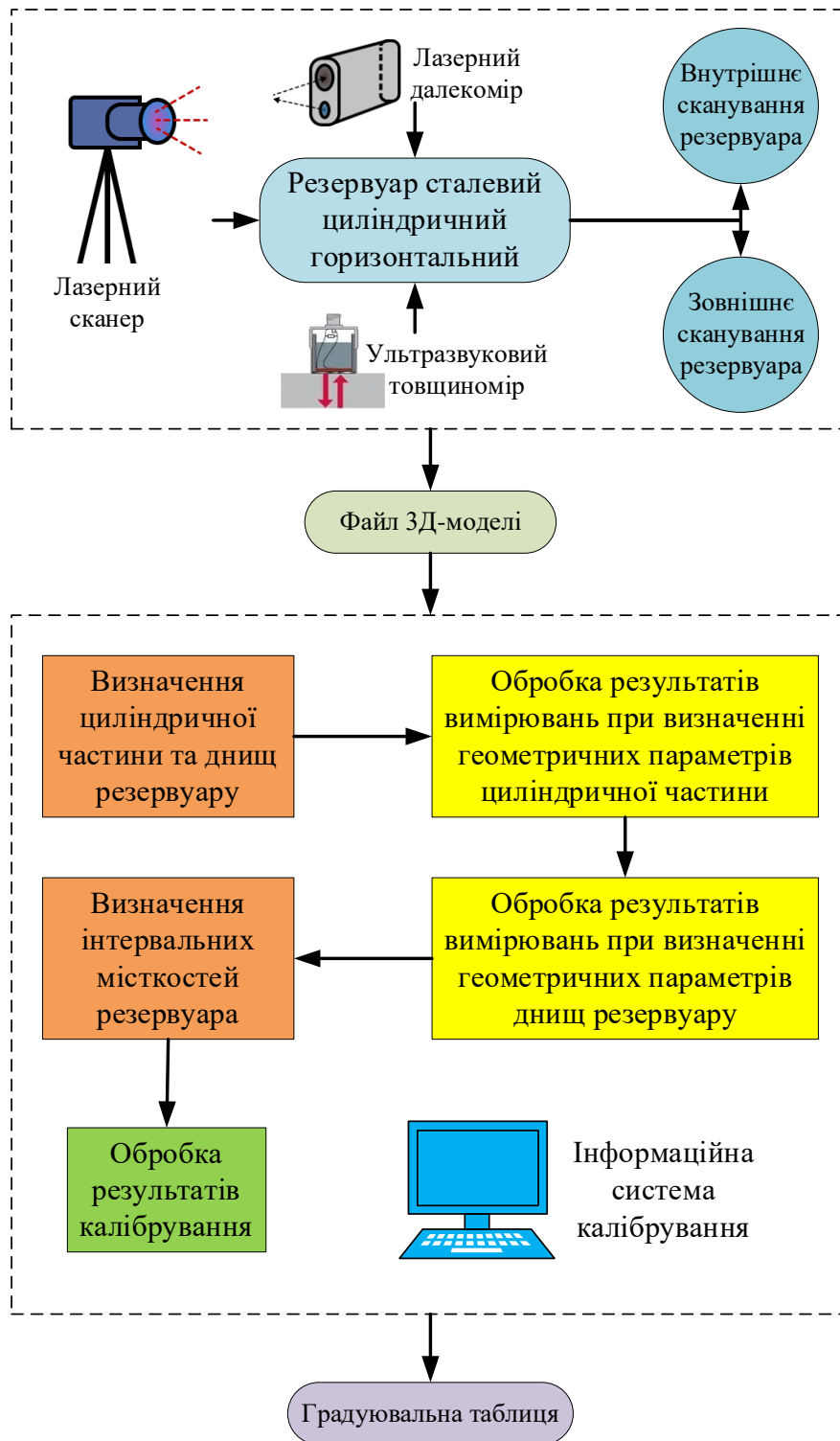


Рис.1. Структурна схема автоматизованої системи

Представлена структурна схема служить лише ілюстрацією взаємозв'язку між компонентами системи та послідовністю їхньої роботи. Реальна ефективність та результативність системи визначаються якістю використовуваних технологій, алгоритмів та апаратного забезпечення. Розроблені в майбутньому алгоритми та програмне забезпечення будуть сприяти автоматизації та оптимізації калібрування, забезпечуючи високий рівень точності та надійності вимірювань геометричних параметрів резервуарів [5].



## **ВИСНОВКИ**

У статті була розглянута структурна схема автоматизованої системи калібрування сталевих циліндричних горизонтальних резервуарів. Подано детальний опис ключових компонентів системи, їх функцій та взаємодії, починаючи від блоку лазерного сканування і закінчуючи модулем створення калібрувальної таблиці.

Розроблена система описує використання сучасних технологій, починаючи від отримання даних лазерним скануванням до генерації файлу калібрування. Кожен елемент структурної схеми виконує важливу роль у забезпеченні точності та ефективності процесу вимірювань геометричних параметрів резервуарів.

Незважаючи на те, що структурна схема є лише ілюстрацією, реальна ефективність системи залежить від якості використовуваних технологій та програмного забезпечення. Розроблені алгоритми та програми мають сприяти автоматизації та оптимізації процесу калібрування, гарантуючи високий рівень точності та надійності вимірювань геометричних параметрів резервуарів [4]. Запропонована система відкриває перспективи для покращення контролю за рівнем рідини в резервуарах і відповідає вимогам сучасного індустріального середовища.

Описана структурна схема автоматизованої системи калібрування резервуарів з використанням геометричного методу дозволяє ефективно координувати роботу різних компонентів, забезпечуючи точні та швидкі результати. Взаємодія між блоками лазерного сканування, інформаційною системою та модулями обробки даних і створення калібрувальної таблиці оптимізована для досягнення високої ефективності та точності процесу калібрування. Така система має великий потенціал для застосування в індустрії, забезпечуючи надійний контроль геометричних параметрів резервуарів і покращуючи загальну надійність їхньої експлуатації.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] O. Samoilenko and V. Zaets, "Calibration of Tanks and Ships' Tanks for Storage and Transportation of Liquids by Laser Scanning," in *Applied Aspects of Modern Metrology*, IntechOpen, London, UK, 2021.
- [2] M.-S. Hu and C.-R. Tao, "Calculation of oil tank volume and report generation system with trim and list corrections," *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, vol. 40, no. 5, pp. 835-845, 2018.
- [3] W. Lv and J. Li, "The research application of 3D laser scanning technology in the deformation detection of large," *Journal of Architectural Research and Development*, vol. 6, no. 3, 2022.
- [4] A. Nurunnabi, Y. Sadahiro, and R. Lindenbergh, "Robust cylinder fitting in three-dimensional point cloud data," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XLII-1/W1, pp. 63-70, 2017.
- [5] Tretiak, O. V., D. M. Proskurenko, Maryna V. Filippova and Mikhail O. Bezuglyi. "REVIEW OF CALIBRATION METHODS FOR CYLINDRICAL STEEL VERTICAL OIL STORAGE TANKS." *Energy and automation* (2023): pp 96-104.

УДК 621.09

*А.С. Пугач, студент гр. ПБ-21мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДІАМЕТРАЛЬНИХ РОЗМІРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ НА ОБРОБЛЮВАЛЬНОМУ ЦЕНТРІ**

**Анотація:** Представлена концепція автоматизованої системи перевірки корпусних елементів безпосередньо на оброблювальному центрі. Запропоновано комплексне математичне, метрологічне та алгоритмічне забезпечення, яке орієнтоване на виконання вимірювальних процедур на обробному центрі Schaublin 160-CNC. Використано 3D вимірювальну головку TSCHORN для вимірювань точності контролю геометричних параметрів корпусних деталей.

**Ключові слова:** системи контролю, точність, оброблювальний центр, деталь.

### **ВСТУП**

В сучасному виробництві точність та якість корпусних деталей мають вирішальне значення для забезпечення надійності та ефективності технічних систем. Контроль діаметральних розмірів є одним із ключових аспектів у забезпеченні їх високої якості. Автоматизовані системи контролю розмірів стали невід'ємною частиною сучасного виробництва, оскільки вони дозволяють не тільки підвищити точність вимірювань, але й зменшити людський вплив на процес контролю. Системи автоматизованого контролю діаметральний розмірів корпусних деталей забезпечують високу точність, оперативність та повторюваність вимірювань, що є критично важливим для масового виробництва деталей з високими вимогами до точності.

Контрольно-вимірювальна техніка відіграє ключову роль у забезпеченні якісних стандартів та конкурентоздатності продукції в галузі приладобудування. Особливу увагу в цьому контексті приділяється методу вимірювання та калібрування геометричних параметрів критичних компонентів, вузлів та механізмів[1].

Точність геометричних розмірів компонентів є вирішальною для забезпечення їх взаємозамінності, що, в свою чергу, сприяє значному скороченню витрат на монтаж, обслуговування та експлуатацію різноманітних механізмів і пристроїв.

Паралельно виникає перманентна потреба у швидкому і точному контролі якості компонентів та обладнання для забезпечення безперервності та ефективності автоматизованого виробничого процесу. Це передбачає вдосконалення методів контролю та забезпечення точності у всіх етапах підготовки до виробництва[2].

Механізми контролю постійно розвиваються, як і автоматичні методи керування, тобто вимірювання проводяться без суб'єкта або лише з обмеженою участю людини. До засобів пред'являються наступні вимоги[2]:

- висока точність вимірювань;
- низька похибка;
- великий діапазон вимірювань;
- стійкість до факторів впливу зовнішнього середовища;
- надійність і довговічність;
- простота і безпека в експлуатації.

Оскільки прямим методом не завжди можна отримати регульовані

параметри, широкого поширення набули прилади, засновані на непрямому методі контролю. З іншого боку, пристрої з побічним ефектом можуть внести додаткову похибку вимірювання під час процесу трансформації. Таким чином, якщо це можливо, слід віддавати перевагу пристроям прямої дії.

Пасивні методи контролю використовуються для перевірки готових компонентів з метою виявлення бракованих товарів і збору даних про походження дефектів[3].

Завдяки активним методам контролю можна проводити вимірювання на самому оброблювальному центрі під час обробки даних. Це дає змогу:

- зменшити виробничі витрати часу на підготовчі роботи;
- модифікувати автоматизований процес ;
- і заощадити значну кількість відходів.

Контактні контрольні пристрої широко використовуються завдяки зручному дизайну та простій конструкції. Основним недоліком є те, що зміна контрольованого предмета або контрольного пристрою може вплинути на його поверхню.

Похибки, що виникли внаслідок неправильного встановлення приладу та похибки неправильного зчитування даних також можуть вважатися негативними.

Вимірювальні головки та контрольні головки є прикладами контактних методів активного контролю[4].

**Метою** є розробка автоматизованих систем контролю корпусних деталей.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для створення автоматизованої системи контролю корпусних деталей безпосередньо на оброблювальному центрі, запропоновано метод проведення контролю (рис.2). Після обробки деталь залишається на верстаті, тобто її установчі бази зберігають свою сталість. Це означає, що похибки обробки, знайдені в результаті виміру будь-яких елементів виробу, можуть бути доопрацьовані.



Рисунок 1. Інфрачервона вимірювальна головка

При переміщенні робочої частини верстата за керуючою програмою головки фіксують фактичний стан вимірювального щупа інфрачервоної головки, який контактує з контрольованою поверхнею деталі.

На рис.1 зображено інфрачервону головку.

Інфрачервона головка в автоматизованій системі контролю використовується для вимірювання діаметральних розмірів корпусних деталей на оброблювальному центрі. Вона працює, випромінюючи інфрачервоне світло, яке відбивається від поверхні деталі і повертається назад до датчика. Це дозволяє точно вимірювати розміри деталей без фізичного контакту, забезпечуючи високу точність і швидкість вимірювань. На рис.2 зображено схему проведення контролю.

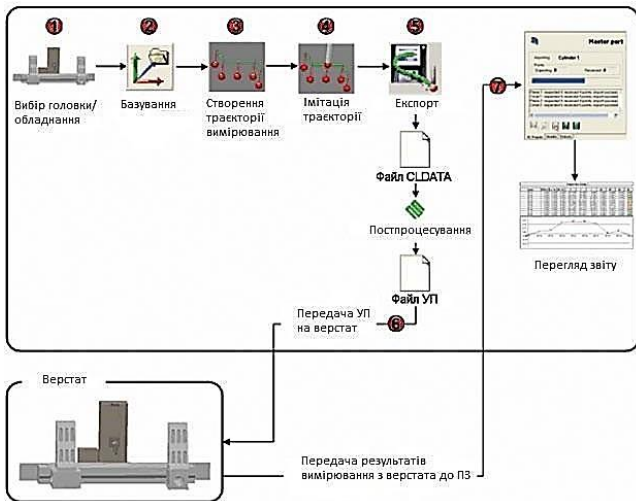


Рисунок 2. Схема проведення контролю на верстатах за допомогою вимірювальних головок та спеціалізованого програмного забезпечення

У ситуаціях, коли деталь після виготовлення має дефекти, такі як невідповідність розмірів, невірна геометрія, подряпини, вм'ятини, неполіровані поверхні, та не може бути повторно відправлена на оброблювальний центр для додаткової обробки, часто виникає практика маркування такої деталі як бракованої. Це відбувається навіть у випадках, коли існує потенціал для її коригування чи виправлення, оскільки організаційні та технічні обмеження контролю продукції поза обладнанням ускладнюють реалізацію таких виправлень [5]. Автоматизовані системи контролю

можуть точно ідентифікувати дефекти, наприклад неправильні розміри, нерівномірність поверхні, або помилки в геометрії. Завдяки точному виявленню таких дефектів, можна краще розуміти, чи можна деталь виправити чи вона дійсно є бракованою.

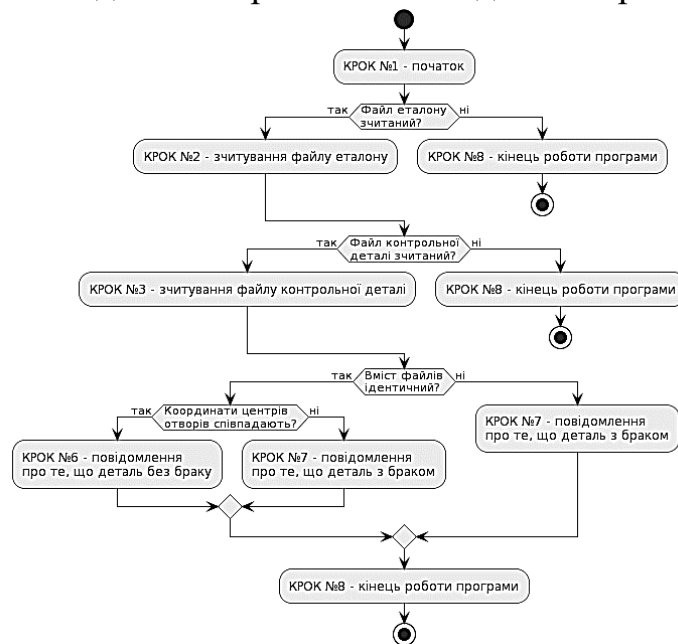


Рисунок 3. Блок – схема алгоритму

- Алгоритм автоматизованої системи контролю здійснюється за наступними кроками:
- Крок №1 – початок;
  - Крок №2 – зчитування файлу еталону
  - Крок №3 – зчитування файлу контрольної деталі
  - Крок №4 – порівняння вмісту файлів
  - Крок №5 – перевірка на співпадіння координат центрів отворів деталі, яка прийнята за еталон, та деталі, що контролюється;
  - Крок №6 – повідомлення про те, що деталь без браку
  - Крок №7 – повідомлення про те, що деталь з браком

### Крок №8 – кінець роботи програми

Зчитування і порівняння файлів еталону та контрольної деталі забезпечує об'єктивність та точність в оцінці відповідності деталей. Перевірка співпадіння координат центрів отворів відображає важливість прецизійності в деталях, що є критичною для якості виробництва. Кінцеві повідомлення про наявність або відсутність браку у деталі забезпечують чітке та прямолінійне спілкування результатів. Цей алгоритм оптимізує процес контролю, знижує ймовірність помилок і підвищує ефективність виробничих процесів.

Система працює за таким принципом: необхідний цикл вимірювання (підпрограма) викликається керуючою програмою для керування машиною. Потім верстат отримує сигнал активації датчика через пристрій передачі, і поточне положення шпинделя зберігається в пам'яті обробного центру Schaublin 160-CNC.

На основі даних про міжосьові відстані об'єкту контролю, які отримуються після роботи контрольно-вимірювальної головки, отриманої з обробного центру, програмне забезпечення розраховує положення центрів отворів у корпусній деталі.

### ВИСНОВКИ

Запропоновано автоматизовану систему контролю корпусних деталей, яка має функціонал, що забезпечує автоматизований контроль похибок та міжосьових відстаней. Розроблено деталізований алгоритм для автоматизації процесів на оброблювальному центрі Schaublin 160-CNC з використанням вимірювальної головки 3D тестер TSCHORN.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Антонюк В.С. Методологія наукових досліджень: [Текст] : навч. посіб./ В.С. Антонюк, Л.Г. Полонський, В.І. Аверченков, Ю.А. Малахов. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 276 с.
- [2] Kondaschewski W.W., Lotze W. Mesteuergeräte spanender Werkzeugmaschinen. Berlin: VEB Verlag Technik, 1974. – 624 S.
- [3] Altintas Y. A General Mechanics and Dynamics Model for Helical End Mills / Y. Altintas, P. Lee // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 1998. – № 120(4). – P. 684–692.
- [4] Campatelli G. Prediction of milling cutting force coefficients for Aluminum 6082-T4 [Electronic resource] / G. Campatelli, A. Scippa // Conference on High Performance Cutting. – 2012. – P. 563–568. – Access mode : <https://googl.su/axpapyh>.
- [5] Improving efficiency of machining the geometrically complex shaped surfaces by milling with a fixed shift of the cutting edge / A. Skorkin, O. Kondratyuk, N. Lamnauer, V. Burdeinaya // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 2/1 (98). – P. 60–69.
- [6] Остафьев В.А., Антонюк В.С., Тымчик Г.С. Диагностика процесса металлообработки - К.: Техника . 1991. - 152 с. [https://kafvr.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/12/Ostafev.Antonyuk.Timchik.Dignostika\\_processa\\_metaloobrabotki.pdf](https://kafvr.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/12/Ostafev.Antonyuk.Timchik.Dignostika_processa_metaloobrabotki.pdf)

*Науковий керівник – д. т. н., проф. Антонюк В.С.*

УДК 681.5.004.4.92

*К.А. Романенко, аспірант гр. ПБ-31ф, проф., д.т.н Безуглий М.О.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ПОЛЯРИМЕТРА

**Анотація.** Розглянуто проблему мультиспектрального поляриметра та запропоновано її вирішення через суміщення пікселів зображення, за допомогою автоматизованої системи, що буде визначати центри міток та точно суміщати кадри зображення. Розглянуто структурну схему системи та запропоновано загальний алгоритм її роботи. Зроблено висновки та розглянуто наступні кроки роботи над системою.

**Ключові слова:** аерозолі, image поляриметр, мультиспектральний поляриметр, обробка зображень, автоматизована система.

### ВСТУП

Аерозолі, присутні в земній атмосфері, репрезентують науково недостатньо досліджений компонент, внаслідок чого існує ступінь невизначеності у їхньому впливі на радіаційний баланс планети. Зокрема, дефіцит інформації щодо глобального розподілу антропогенних аерозолів значно ускладнює проведення тестування та вдосконалення моделей переносу аерозолів в атмосфері.

З метою дослідження аерозолів у земній атмосфері запропоновано використовувати спеціальний технічний засіб – мультиспектральний-імейдж Стокс-поляриметр (МСП) [1]. Використання цього пристрою дозволяє отримати необхідні мікрофізичні та хімічні параметри, здійснюючи вимірювання показника заломлення світла природними і антропогенними аерозолями [1]. Основна функція мультиспектрального поляриметра полягає в проведенні поляриметричних та фотометричних вимірювань розсіяного сонячного випромінювання з метою отримання детальної інформації щодо характеристик зазначених аерозолів.

Особливістю зазначеного класу МСП є вдосконалена оптична система, що дозволяє проводити вимірювання перших трьох елементів вектору Стокса одночасно в широкому полі зору ( $60^\circ$ ), для розрахунку яких використовується наступні вирази [2]:

$$S(i, j) \equiv \begin{bmatrix} S_0(i, j) \\ S_1(i, j) \\ S_2(i, j) \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} I(i, j) \\ Q(i, j) \\ U(i, j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_0(i, j) + I_{90}(i, j) \\ I_0(i, j) - I_{90}(i, j) \\ I_{45}(i, j) - I_{135}(i, j) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Однак при спостереженні елементів та структур розміром порядку роздільної здатності МСП спостерігаються муари навколо міток зображення, що свідчить, скоріш за все, про недостатню якість суміщення зображень. Однією з причин може бути складність аналізу калібрувальних зображень при визначенні координат центрів відповідних вузлів, що не є точками з фіксованими межами.

Тому створення системи, що дозволить автоматизовано знаходити центри міток на зображення та корегувати кадр зображення за отриманою інтерполяційною функцією є актуальною та важливою задачею.

## СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ

На рисунку 1 представлена структурна схема автоматизованої системи. Дана система буде приймати на вхід кадр зображення від МСІП, а на виході видавати дані про параметри Стокса (інтенсивність  $S_0$ , та параметри поляризації  $S_1$ ,  $S_2$ ), фазові кути (відношення між  $S_2$  та  $S_1$ ) та кути розсіювання (відношення між кореляцією  $S_1$  та  $S_2$  та різницею між амплітудами  $S_2$  та  $S_1$ ) на основі проведеного аналізу кадру зображення. У загальному вигляді структурна схема містить два основних модулі, а саме МСІП та модуль аналізу зображення, що виконує необхідні розрахунки та корегування кадру для подальшого аналізу властивостей аерозолів.

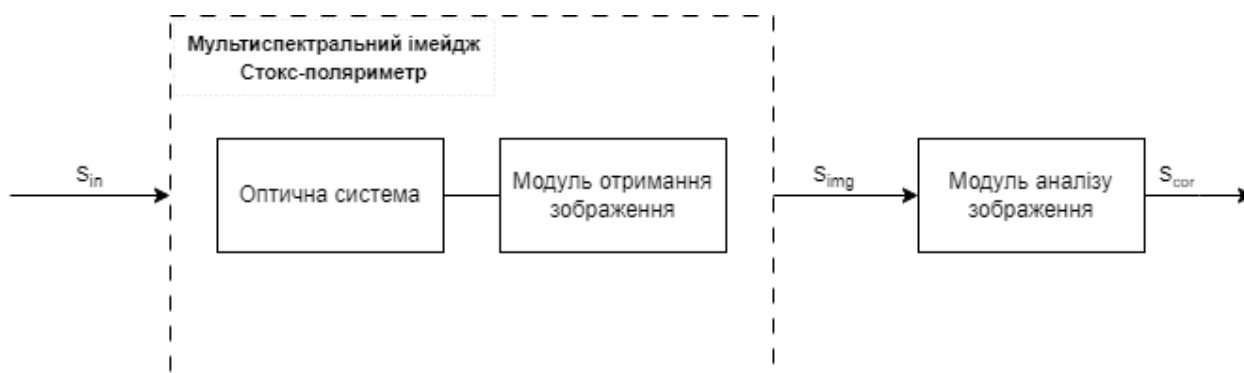


Рисунок 1. Структурна схема автоматизованої системи обробки зображень мультиспектрального поляриметра:  $S_{in}$  - вхідна сцена;  $S_{img}$  – кадр зображення, отриманий від image поляриметра;  $S_{cor}$  – отримані дані з зображення

У зазначеному МСІП є чотири оптичні канали, що відповідають різним кутам встановлення поляризаторів:  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  [3]. У зв'язку з цим, головний кадр зображення від МСІП представляє собою чотири кадри, які відповідають оптичним каналам поляриметра. Тому модуль аналізу зображення складається з під-модулів, що відповідають за розділення головного кадру зображення на чотири окремі кадри зображення, що відповідають оптичним каналам МСІП, під-модулю визначення центрів міток на кадрі зображення та корекції їх розташування. Після того, як було точно суміщено всі чотири окремих зображення система проводить розрахунки параметрів Стокса, фазових кутів та кутів розсіювання.

## АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ

На рисунку 2 представлено загальний алгоритм роботи системи. Спочатку система отримує зображення від МСІП після чого виконує його фільтрацію. На даному етапі максимально прибираються шуми та муари зображення. Наступним кроком головний кадр зображення від МСІП поділяється на чотири зображення, що відповідають оптичним каналам поляриметра. Після цього система визначає центри міток на кадрі зображення із розрахунку центру мас інтенсивності яскравості мітки. Далі визначаються інтерполяційні функції корекції зображення та застосовуються до знайдених центрів. Після того як проведено суміщення окремих зображень система переходить до визначення параметрів Стокса, фазових кутів та кутів розсіювання, отримані дані надалі

передаються до алгоритму розрахунків параметрів аерозолів.



Рисунок 2. Загальний алгоритм роботи автоматизованої системи

Зазначений алгоритм роботи автоматизованої системи покликаний забезпечити аналіз кадру зображень від оптичних каналів МСІП, що дозволить покращити точність розрахунків параметрів Стокса, фазових кутів та кутів розсіювання.



## **ВИСНОВКИ**

Розглянуто передумови для створення автоматизованої системи мультиспектрального поляриметра для отримання та обробки зображень, а саме описано основну проблему МСП, яка полягає у суміщенні пікселів кадру зображення, що унеможлиблює отримання точних даних про параметри Стокса, фазові кути та кутів розсіювання для наступного проведення аналізу аерозолів. Запропоновано вирішення даної проблеми, а саме через знаходження центрів міток зображення та корегування з суміщенням отриманих зображень за допомогою інтерполяційної функції, що дозволить точно сумістити пікселі всіх окремих отриманих кадрів зображення. Надалі планується провести дослідження для визначення критеріїв оцінки точності знаходження центрів міток на зображенні та суміщення отриманих кадрів зображення, та наступна реалізація програмної частини системи.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Синявський, І. І. та ін. (2018). Мультиспектральний іміджер–поляриметр космічного проекту «Аерозоль-УА». *Космічна наука і технологія*, Т. 24, № 3, С. 23–33.
- [2] Syniavskiy, I., Oberemok, Y., Danylevsky, V., Bovchaliuk, A., Fesianov, I., Milinevsky, G., та інші. (2021). Aerosol-UA satellite mission for the polarimetric study of aerosols in the atmosphere. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 267(No. 267).
- [3] Syniavskiy, I. I., et al. (2013). PANORAMIC STOKES-POLARIMETER. *Ecological Newsletter of BSEC Research Centers*, Vol. 4, P. 1–6.

*Наук. керівник – професор, д.т.н. Безуглий М.О.*

УДК 681.5.017

Д.С. Селюк, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Шевченко В.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ СУШІННЯ ВИРОБІВ

**Анотація.** У роботі розроблено автоматизовану систему для керування сушіння виробів, обґрунтовано важливість процесу сушіння, описано принципи дослідження процесів сушіння виробів. Впровадження розробленої автоматизованої системи дозволить забезпечити оптимальні параметри процесу сушіння, що забезпечить зменшення браку та економію дорогих енергоресурсів.

**Ключові слова :** конвекція, автоматизована система, температура, вологість.

### ВСТУП

Сушильно-ширильні машини призначені для сушіння виробів при одночасному розширенні, що дозволяє отримувати добротні вироби, які відрізняються рівністю по ширині, гладкою поверхнею без зарубок і загнутих кромek, мають гарний зовнішній вигляд.

В даний час найбільше поширення одержали сушильно-ширильні стабілізаційні машини (СШМС). Вони універсальні, здатні виконувати цілий комплекс операцій обробки: просочення, сушіння, термостабілізацію, фіксацію термореактивних смол на волокні, ширіння, усадку по основі, обрізку і змазування країв у трикотажних полотнах, виправлення перекосів уточних ниток та інші операції.

Основним елементом в таких апаратах є система конвективного сушіння. Оптимізація роботи такої системи є актуальною задачею на сьогоднішній час, оскільки дозволить частково економити і так дорогі енергоресурси.

Для дослідження такого процесу пропонується розробити прототип сушарки, провести дослідження та застосувати отримані результати на сушильній машині Montex 6000.[1]

### МЕТОДИКА ВИМІРЮВАНЬ

Схематична модель, яку планується використовувати в кондуктивному/конвективному дослідженні, ґрунтується на спрощенні промислової циліндричної геометрії до плоскої (прямокутної), оскільки радіус циліндра більший за товщину листів текстилю. Модель представлена на рис. 1.



Рисунок 1. Схематична модель процесу сушіння.

Перший експериментальний пристрій складається з металевої коробки, що нагрівається термостатичною ванною, що містить верхню поверхню, на яку поміщують зразки виробу. Система піддається примусовій конвекції, що забезпечується регульованим вентилятором, рис. 2.

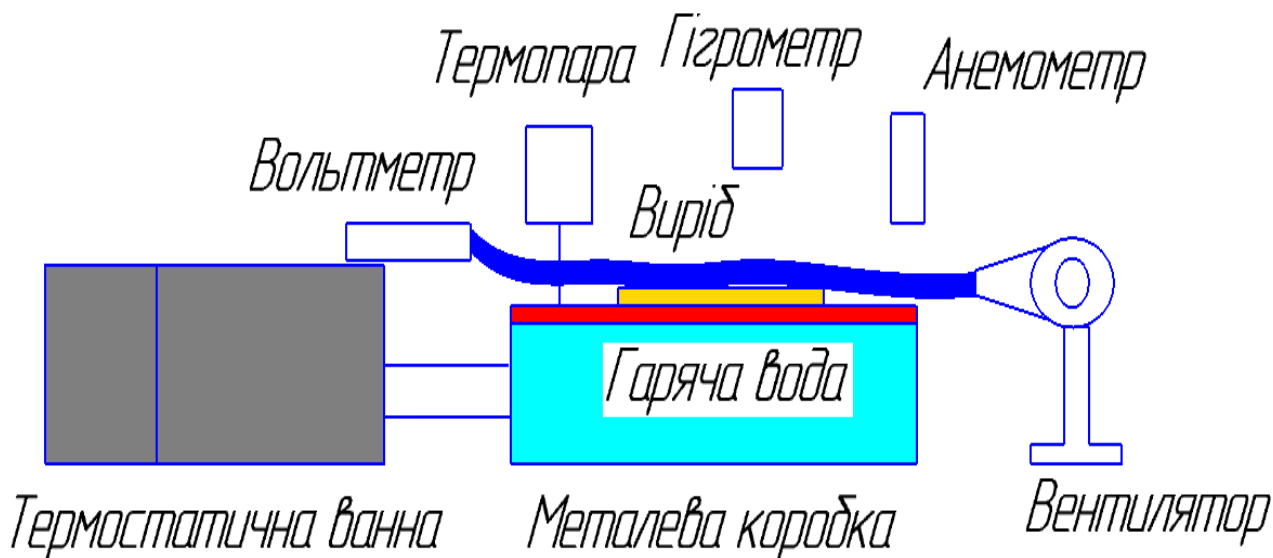


Рисунок 2. Експериментальний прилад – кондуктивна/конвективна сушарка.

Температуру поверхні нагрівання можна регулювати та перевіряти за допомогою контактної термопари, швидкість повітря над поверхнями зразків за допомогою портативного анемометра (примусова конвекція), а зразки періодично зважувати на вагах для вимірювання вмісту води.[2]

Блок-схема автоматизованої системи контролю процесу конвективного сушіння приведено на рис. 3.

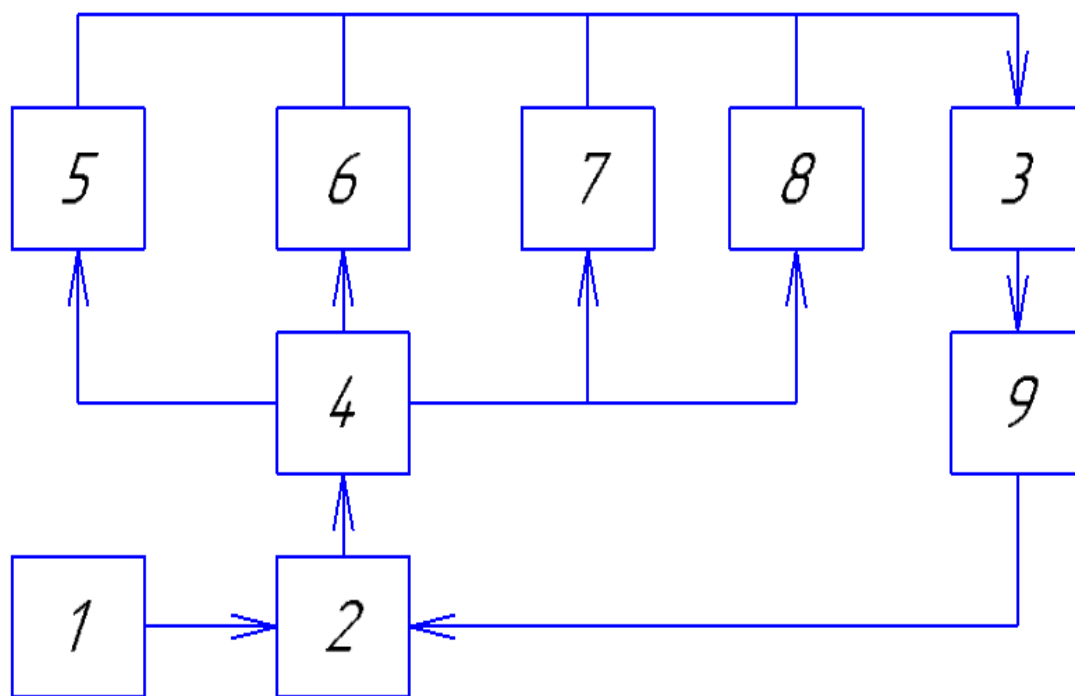


Рисунок 3. Блок-схема автоматизованої системи контролю процесом конвективного сушіння.

Термостатична ванна 1 генерує водяне теплоджерело, яке поступає у ємність 2, звідки нагріває виріб 3. Параметри процесу сушіння вимірюються за допомогою вольтметра 5, термопари 6, гігрометра 7 та анемометра 8. Усі отримані дані поступають в керуючий пристрій 3 який проводить керування вентилятором 9 та ванною 1.[3]

## **ВИСНОВКИ**

Розроблена автоматизована система контролю за процесом сушіння може бути використана підприємствах, де є необхідність в контролі над процесом конвективного сушіння. Впровадження такої системи у виробництво дозволить проводити вимірювання параметрів процесу, для текстильних виробів, що дозволить економити енергоресурси.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1]Motta Lima, O. C. Generalized Drying Curves in Paper Drying, Abstracts Proceedings and presented at the II ENPROMER, 1990. Режим доступу : <https://www.scielo.br/j/bjce/a/6g4Wjn6RpBmRwZGrG6pjpRs/>
- [2]Експериментальний метод визначення швидкості сушіння. Режим доступу : <https://studfile.net/preview/5678895/page:5/>
- [3]Вивчення класифікації, конструкції та принципу дії сушарок. Режим доступу :<http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/vyvchennja-klasifikaciyi-konstrukciyi-ta-pryncypu-diyi-susharok.pdf>.

*Наук. керівник – к. т. н., доц. Шевченко В. В.*

УДК 629.3.018.2

О.В. Третяк, аспірантка гр. ПБ-21ф  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ ОБЛАДНАННЯМ

**Анотація.** Сучасні технічні системи керування рухомим обладнанням стикаються з викликами, пов'язаними з підтримкою їхньої надійності та ефективності. У статті розглядається актуальна проблема автоматизованого обслуговування, базованого на методах машинного навчання. Результати дослідження вказують на досягнення в галузі машинного навчання, особливо в застосуванні алгоритмів глибокого навчання для виявлення несправностей та оптимізації процесів технічного обслуговування. Активне технічне обслуговування, здатне виявляти та усувати несправності автоматично, стає популярним напрямком досліджень.

**Ключові слова:** технічне обслуговування, машинне навчання, глибоке навчання, прогнозне технічне обслуговування

### ВСТУП

Сучасні технічні системи керування рухомим обладнанням стикаються з рядом викликів, пов'язаних з підтримкою їхньої надійності та ефективності. В цьому контексті, автоматизоване обслуговування, засноване на методах машинного навчання, є актуальною проблемою, яка привертає увагу вчених та інженерів. Однією з ключових областей є автоматизоване обслуговування, що використовує методи машинного навчання.

Мета розвитку технології полягає у підвищенні продуктивності в таких сферах, як виробництво, обслуговування та якість на підприємствах. Такі фактори, як неефективні періоди, які можуть виникнути через збої у виробництві та браковані продукти, значно впливають на продуктивність. Стратегія технічного обслуговування, визначена заздалегідь і впроваджена в потрібний час, є важливим фактором підвищення ефективності. Стратегії технічного обслуговування включають такі дії з технічного обслуговування, як заміна частин, оновлення та ремонт, необхідні для забезпечення безперервності стану працездатності активів на підприємстві протягом усього терміну служби та виконання операційних функцій. У літературі зазвичай згадуються чотири загальні стратегії технічного обслуговування: превентивне (профілактичне), прогнозне, ремонтне та рекомендоване технічне обслуговування [1,2]. На рис.1 наведено візуальне узагальнення робочих методів різних типів технічного обслуговування.

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Технічне обслуговування (ТО) є важливим елементом догляду обладнанням для забезпечення їхньої надійності, ефективності та тривалого терміну служби.

Прогнозне технічне обслуговування (Predictive Maintenance, PdM) – це процес планування діяльності з технічного обслуговування та виконання технічного обслуговування з використанням різних методів прогнозування потенційних збоїв до того, як збій станеться. Діяльність PdM використовує науку про дані, щоб передбачити, коли обладнання може вийти з ладу. На основі даних оцінюється точка несправності, і до цієї точки можна планувати технічне обслуговування. Мета полягає в тому, щоб забезпечити сталість системи шляхом планування процесу технічного обслуговування в найбільш відповідний момент

до закінчення терміну служби обладнання [3,4]. Підхід дозволяє зменшити час простою та максимізувати доступність обладнання, ведучи його обслуговування за фактичною потребою.

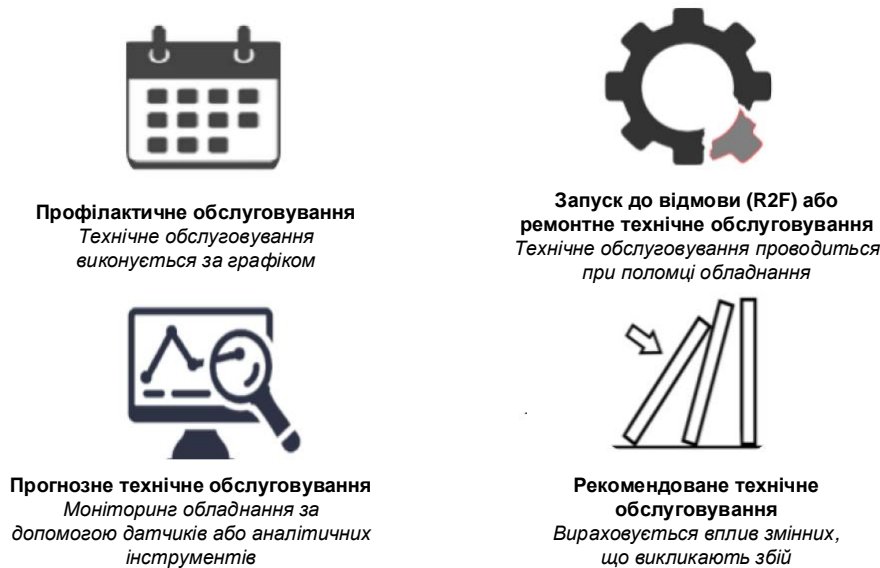


Рис.1. Різні види обслуговування

За останнє десятиліття, окрім підвищення рівня автоматизації, також було досягнуто розвитку нейронних мереж і машинного навчання. Зі зростанням кількості збережених даних і розвитком процесорів на базі GPU та подібних процесорів, які можуть обробляти складні алгоритми, які можуть працювати з цими даними, нейронні мережі, що складаються з більшої кількості блоків і прихованих шарів, стали придатними для навчання [5].

Профілактичне ТО – систематичні заходи, які проводяться заздалегідь, щоб уникнути можливих несправностей та забезпечити тривалий термін служби обладнання [2]. Включає регулярні перевірки, технічне обслуговування, заміну деталей за графіком, а також систематичне оновлення програмного забезпечення.

Рекомендоване ТО засноване на рекомендаціях виробників або експертів щодо оптимального графіку обслуговування та заміни частин обладнання. Включає рекомендовані інтервали заміни деталей, профілактичні заходи, апгрейди та інші дії, які сприяють тривалому та надійному функціонуванню обладнання [5].

Ремонтне технічне обслуговування, також відоме як стратегія "запуск до відмови" (Run to Failure, R2F), є однією з основних стратегій обслуговування, де обладнання експлуатується до відмови або несправності, після чого воно піддається ремонту чи заміні. Цей підхід відрізняється від стратегій превентивного технічного обслуговування, які передбачають заплановані заходи до виникнення проблем. Однією з ключових переваг стратегії RtF є можливість мінімізації витрат на планове обслуговування, оскільки заміна чи ремонт проводяться лише у разі фактичної відмови обладнання. Хоча обладнання використовується до відмови, важливо вести моніторинг його стану. Сучасні технології дозволяють виявляти ознаки несправностей.

Тож, за допомогою машинного навчання можна вдосконалити алгоритми

для виявлення несправностей. Алгоритми глибокого навчання можуть ефективно виявляти аномалії в роботі систем керування рухомим обладнанням. Це дозволяє операторам системи оперативно реагувати на потенційні проблеми та попереджати аварії.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Останні досягнення в галузі машинного навчання відкривають нові можливості для автоматизації обслуговування. В даному дослідженні зосереджувалася увага на застосуванні машинного навчання для автоматизованого обслуговування систем керування рухомим обладнанням. Основний акцент робився на використанні алгоритмів глибокого навчання для виявлення несправностей, передбачення термінів служби та оптимізації процесів технічного обслуговування. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє створювати системи, які можуть прогнозувати потребу в обслуговуванні та забезпечувати це вчасно та ефективно, тож застосуємо загальний алгоритм (рис.2). У сфері активного технічного обслуговування, де система може автоматично виявляти та усувати несправності, дослідження вказують на збільшення популярності цього напрямку.

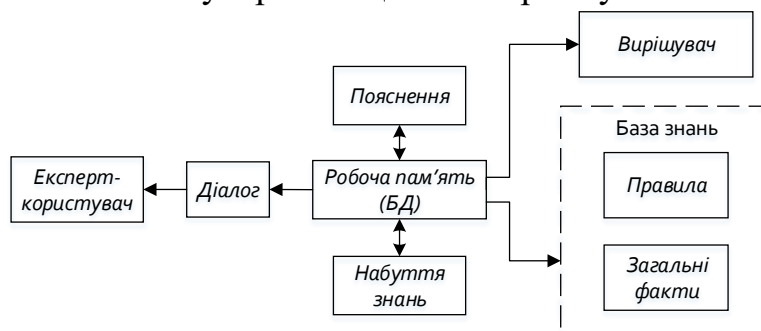


Рис. 2. Узагальнена схема експертної системи

Незважаючи на досягнення, існують виклики, такі як адаптація алгоритмів до реальних умов експлуатації, врахування змінних факторів та підвищення відмовостійкості. Майбутнє дослідження може фокусуватися на розробці гібридних систем, які комбінують методи машинного навчання з традиційними техніками обслуговування для досягнення максимальної ефективності. Застосування машинного навчання в області активного технічного обслуговування дозволять створити системи, які автоматично розпізнаватимуть та усуватимуть несправності без втручання оператора.

Нейронні мережі можуть виявляти нові патерни несправностей та швидко адаптуватися до змін у виробничих умовах. Вони будуть здатні аналізувати робочі умови та навчатися адаптивно регулювати графіки обслуговування, забезпечуючи ефективне використання ресурсів. Також можна враховувати зворотний зв'язок з системи керування рухомим обладнанням для постійного вдосконалення моделей прогнозування і підвищення ефективності технічного обслуговування.

Для ефективної роботи алгоритмів машинного навчання необхідні значні обсяги якісних даних, що може бути проблематичним в деяких галузях або на ранніх етапах впровадження. Деякі моделі можуть бути складними для інтерпретації, що ускладнює розуміння причин виникнення певних рішень.

Наявність оптимальної моделі, яка підходить для конкретного обладнання чи умов експлуатації, може вимагати додаткового дослідження та налаштувань.

## **ВИСНОВКИ**

Отже, результати дослідження вказують на те, що застосування машинного навчання в автоматизованому обслуговуванні систем керування рухомим обладнанням може призвести до значного покращення продуктивності, надійності та ефективності цих систем.

Застосування машинного навчання в автоматизованому обслуговуванні систем керування рухомим обладнанням відкриває нові можливості для оптимізації процесів, збільшення надійності та підвищення продуктивності цих систем. Маємо перед собою перспективне поле досліджень, яке вимагає подальшої уваги та розвитку. Використання алгоритмів глибокого навчання сприятиме зменшенню часу простою, максимізації доступності обладнання та ефективному плануванню процесу технічного обслуговування. Систему можна навчити під потреби підприємства, покращити її швидкодію.

Комбінація різних видів технічного обслуговування дозволить досягти комплексного управління обладнанням, забезпечуючи його тривалий та надійний функціонування. Вибір конкретного типу ТО залежить від характеру технічної системи, її вимог до надійності та умов експлуатації.

Машинне навчання у сфері автоматизованого обслуговування систем керування рухомим обладнанням виявляється перспективним інструментом, що сприяє підвищенню ефективності та надійності технічних систем. З розвитком технологій та досліджень, можна очікувати подальший розквіт цього напрямку з вирішенням нових завдань та вдосконаленням існуючих методів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Zonta, T.; da Costa, C.A.; Righi, R.D.R.; de Lima, M.J.; da Trindade, E.S.; Li, G.P. Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. *Comput. Ind. Eng.* 2020, 150, 106889.
- [2] Mallouk, I.; Sallel, Y.; El Majd, B.A. Machine learning approach for predictive maintenance of transport systems. In *Proceedings of the 2021 3rd International Conference on Transportation and Smart Technologies*, Tangier, Morocco, 27–28 May 2021.
- [3] Zwolinska, B.; Wierciach, J. Selection of Maintenance Strategies for Machines in a Series-Parallel System. *Sustainability* 2022, 14, 11953.
- [4] Ong, K.S.H.; Wang, W.; Niyato, D.; Friedrichs, T. Deep-Reinforcement-Learning-Based Predictive Maintenance Model for Effective Resource Management in Industrial IoT. *IEEE Internet Things J.* 2021, 9, 5173–5188.
- [5] Ouda, E.; Maalouf, M.; Slepchenko, A. Machine learning and optimization for predictive maintenance based on predicting failure in the next five days. In *Proceedings of the 10th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems*, Vienna, Austria, 4–6 February 2021; pp. 192–199.

*Наук. керівник – д.т.н., доц. Філіппова М.В.*



УДК 621.9

О.В. Філіпов, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н. Демченко М.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМ ПРОЦЕСОМ

**Анотація.** В даній статті проведено аналіз програмних продуктів та інформаційних систем (PLM/PDM), для створення передумов розроблення системи інтелектуальної надбудови для формування альтернативних варіантів технологічних маршрутів виготовлення виробу.

**Ключові слова:** виріб, технологічний процес, системи, PLM, PDM

### ВСТУП

Прискорення науково-технічного прогресу й посилення конкурентної боротьби підприємств призвело до нової промислової революції, званої Індустрія 4.0, тобто до переходу на цифрове виробництво. Воно передбачає широке розповсюдження інформаційних технологій як проектування виробів, так і технологічної підготовки виробництва й, власне, самого виробництва в цілому. Використання інформаційних технологій передбачає створення цифрового двійника виробу та виробничого процесу, відстеження в режимі реального часу ходу виробництва.

Одним із найбільш перспективних способів досягнення високої конкурентоспроможності є підвищення ефективності на етапі технологічної підготовки виробництва (ТПВ) та планування виробництва (ПВ) за рахунок застосування сучасних підходів та їх інформатизації. Більшість цих підходів в інформатизації дозволяють забезпечити управління виробництвом, але не вирішують повністю такі завдання, як вибір в оперативному режимі обладнання, інструменту та оснащення з оптимальним значенням техніко-економічних показників для виконання технологічного процесу (ТП), підбір оптимального маршруту виготовлення виробу, з врахуванням критеріїв, які впливають на хід виробництва, та фізичних обмежень потужностей підприємств.

### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Процес автоматизації ТПВ здійснюється за допомогою програмних середовищ, що дозволяють технологу розробляти технологічні маршрути та технологічні карти виготовлення виробів. Одним із представників даних програм є CAPP (Computer-Aided Process Planning програмне забезпечення для планування (технологічної підготовки) виробництва).

В основу роботи CAPP закладено функції накопичення знань технологів конкретного підприємства для подальшого використання цього досвіду. CAPP на основі накопичених знань у конкретній галузі допомагають молодим технологам розробляти технологічну документацію без залучення найбільш досвідчених колег та паралельно навчатися [1,2].

У процесі роботи з CAPP програмами технологу необхідно вказати тип і технічні характеристики оброблюваної деталі або виробу. Програма сама підбере з бази знань відповідні технологічні процеси для виготовлення даної деталі, технологічні параметри та спроектує комплект технологічних документів.

Серед можливостей САРР програм, які дозволяють спростити та прискорити процес проектування, виділяються основні, такі як:

- формувати бази знань технологічних процесів для повторного використання;
- розробляти в автоматичному режимі повний комплект технологічної документації;
- формувати та заповнювати технологічну документацію в форматі, який створений під конкретні вимоги підприємства;
- управляти змінами між креслениками, 3D моделлю та вимогами до якості поверхонь із САД-систем, технологічною документацією в автоматичному режимі;
- узгоджувати документацію між підрозділами підприємства та/або замовником через використання «workflow» процесів.

Наявність взаємозв'язку між конструкторською та технологічною інформацією, представленою в електронному вигляді, дає підприємству перевагу в автоматизації процесів проектування документації, управління змінами у проектній та технологічній документації, що веде до скорочення трудових, матеріальних та тимчасових витрат на проектування, на відміну від підприємств, що використовують окремо графічні та технологічні редактори для оформлення креслень та технологічних карт [3].

Найбільш ефективними програмами забезпечення взаємозв'язку між конструкторськими та технологічними даними у процесі проектування є спеціальні інтегруючі PLM-платформи (Product Lifecycle Management), які охоплюють всі види робіт з випуску будь-якої продукції від проектування до збуту. PLM система дозволяє підвищити ефективність роботи підприємства, скоротити час виходу продукту ринку. Підвищення ефективності виробничих процесів підприємства забезпечується системами ERP (Enterprise Resource Planning), які інтегровані із системою PLM.

Одним із елементів PLM-систем є PDM-системи (Product Data Management), що дозволяють працювати з об'ємними базами даних проектної та технічної інформації, необхідних на етапах проектування та виробництва, сервісного обслуговування, супроводу та утилізації. У PDM-системах інтегруються дані будь-яких форматів і типів, які надаються користувачам вже у структурованому вигляді. Система крім текстових даних працює з 3D моделями та даними, необхідними для програмування промислових контролерів та верстатів з числовим програмним керуванням тощо.

Системи дозволяють формувати звіти на будь-якому етапі життєвого циклу, проводити конфігурацію виробів за технічними параметрами, залишати специфікації матеріалів і готового виробу. Інформація надається будь-якому користувачеві, зареєстрованому в даному середовищі, з будь-якою точкою підключення системи до бази даних. Одним із основних переваг PDM-систем є групова робота над продуктом експертів різних областей у реальному часі.

Найбільш розповсюдженими PLM/PDM-системами є: Windchill (PTC, США), IFS Applications (IFS, США), SmartEam (IT-Enterprise, Україна), Teamcenter (Siemens PLM Software, США), ENOVIA, SolidWorks Enterprise PDM (Dassault Systèmes, Республіка Франція), Aras Innovator (Aras Corporation, США) тощо.

Проведемо порівняльний аналіз функціональних можливостей деяких із вище наведених систем (табл. 1).

Таблиця 1. Аналіз функціональних можливостей PLM/PDM систем

Функція	Windchill	ENOVIA	Teamcenter	SmartEam	Aras Innovator
Управління номенклатурою продукції, програмами та проектами в єдиній БД	+	+	+	+	+
Управління проектуванням	+	+	+	+	+
Управління складом виробу	+	+	+	+	+
Забезпечення відповідності нормативним вимогам	+	+	+	+	+
Управління контентом та документообігом	+	+	+	+	+
Управління виробничими процесами	+		+	+	
Візуалізація протягом життєвого циклу			+	+	
Інтеграції з різними CAD-системами		+	+	+	
Робота з інтелектуальними ресурсами підприємства	+		+	+	
Спільна робота у розподіленому середовищі в режимі реального часу	+	+	+	+	+
Можливість інтеграції з іншими системами		+	+		+
Робота віддалених користувачів з БД виробу через Інтернет		+	+	+	+
Управління бізнес-процесами (workflow) підприємства		+	+	+	+
Звітність та аналітика	+	+	+	+	+

## ВИСНОВОК

Аналіз програмних та інформаційних продуктів показав, що всі системи можуть лягти в основу системи інтелектуальної надбудови для вибору технологічного обладнання та формування альтернативних варіантів технологічних маршрутів виготовлення виробу. Комбінація цих систем дозволить створити якісну інформаційну систему з можливістю легкої інтеграції з підсистемами, які розробляються під визначене виробництво. Це дозволить створити гнучку інтелектуальну систему з різноманітним функціоналом, здатну задовольняти вимоги різних користувачів. Система набуде фактору модульності, що збільшить її затребуваність і конкурентоспроможність на ринку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Smart Manufacturing Operations Planning and Control Program | NIST, (n.d.). <https://www.nist.gov/programs-projects/smart-manufacturing-operations-planning-and-control-program> (accessed April 7, 2018)
- [2] С.П. Вислоух, М.В. Філіппова, "Інформаційні основи проектування технології механоскладальних робіт в приладобудуванні", // Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування, Вип. 28, с. 139–144, 2004
- [3] М. В. Філіппова, Д. М. Проскурєнко, О. В. Третьак, М. О. Демченко, "Автоматизоване планування послідовності складання", Енергетика і автоматика, № 5, с. 28-44. 2021. doi: 10.31548/energiya2021.05.028

*Наук. керівник – к.т.н., Демченко М.О.*



## **Секція 4.**

# **Новітні технології автоматизації, робототехніки та інтернет речей**

## УДК 681.5.

*Д.А. Альошин, студент гр. ПМ-21мп, доц. Богдан Г. А.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ОГЛЯД СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

**Анотація:** У статті проведено огляд існуючих систем орієнтації роботів пілососів у просторі. Виділені наступні типи навігаційних систем роботів пілососів: навігація по алгоритмам, гіроскопічна система навігації, оптичний гіроскоп, лазерна навігація з допомогою лідара. Описано принцип їх дії, недоліки та переваги.

**Ключові слова:** робот-пилосос, система навігації, гіроскоп, лідар.

#### ВСТУП

Останнім часом у світі можна спостерігати тенденцію заміни людської праці на машинну що спричинило бурхливий розвиток робототехніки. Робототехнічні системи є основою автоматизації автотранспорту, авіатранспорту, сучасної промисловості та інших галузях діяльності людей. У наші дні неабиякого розповсюдження здобули роботи пілососи [1-3].

Однією з основних задач сучасних мобільних роботів постає проблема орієнтації пристроїв у замкнутому просторі який з часом зазнає деяких змін. Саме тому актуальною задачею залишається розробка алгоритмів побудови карти приміщення та пристосування до постійних її змін.

#### МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наразі існує декілька популярних архітектур системи орієнтації робота пілососа [4], кожна з них має свої переваги та недоліки. Вони відрізняються ефективністю, швидкістю пристосування, легкістю використання та вартістю реалізації. Можна виділити наступні типи навігаційних систем роботів пілососів: навігація по алгоритмам, гіроскопічна система навігації, оптичний гіроскоп, лазерна навігація з допомогою лідара.

##### Навігація по алгоритмам.

Пилососи, обладнані цією системою навігації, використовують прописані наперед алгоритми для орієнтації в просторі. Інформацію про оточення вони отримують за допомогою інфрачервоних та тактильних сенсорів, які встановлюють в передньому частині приладу. У випадку наявності перешкоди, на шляху руху робота, він виявляє їх сенсорами та змінює свій маршрут. Рухи таких пілососів визначаються набором алгоритмів та дій. Одним з таких алгоритмів є прибирання по спіралі. Робот діє так, коли не відчуває об'єктів довкола і розуміє, що знаходиться посеред кімнати. Після того як оброблено близько двох квадратних метрів приміщення, робот переміщається на наступний квадрат. У випадку знаходження роботом пілососом перешкод він обирає інший алгоритм руху. Для повернення на зарядну станцію вони використовують ІЧ-датчик, не зберігаючи інформацію про місцезнаходження зарядної станції, поки не виявлять її.

До переваг навігації по алгоритмам відносять: адаптивність до конкретних умов та типів поверхні, що дозволяє підвищити ефективність їх роботи; здатність до оптимізації траєкторії руху (алгоритми руху можуть бути розроблені під будь-яку задачу); при правильній роботі алгоритмів приладу притаманна висока стабільність роботи; дешевизна.

Недоліки навігації по алгоритмам: труднощі у роботі у випадку непередбачуваних або змінних умовах, оскільки її алгоритми побудовані на попередньо визначених правилах; низька ефективність у випадку застосування на великих площах.

### **Гіроскопічна система навігації.**

Принцип дії подібний до навігації по алгоритмам. Відмінність полягає в наявності гіроскопів, які дозволяють роботу пилососу визначати своє положення в просторі та вчасно виявляти відхилення від запланованого маршруту і вносити відповідні корекції. Для руху, найчастіше, використовується алгоритм «змійка». Такий алгоритм дозволяє пилососу прибирати всю площу, рухаючись зигзагами по кімнаті і визначаючи, де він уже прибрався, а де ще належить прибрати. В даному випадку робот із такою навігацією «сліпий», але може орієнтуватися, бо пам'ятає, де був і з якими перешкодами стикався.

Переваги гіроскопічних систем навігації: здатність адаптуватись до змін в зовнішньому середовищі; не втрачає орієнтацію в просторі; коригування траєкторії руху робота, особливо у випадку непередбачених ситуацій.

Недоліки гіроскопічних систем навігації: використання гіроскопів в конструкції приладу, збільшує кінцеву ціну такого пилососа, а також ускладнює його будову; зменшена тривалість роботи на одному заряду пилососа, через потребу гіроскопів в джерелі живлення; низька ефективність при використанні на великій площині або в приміщеннях з великою кількістю перешкод.

### **Система навігації з оптичним гіроскопом.**

Оптичний гіроскоп або Visual Simultaneous Localization and Mapping (vSLAM) - це технологія, що використовується для навігації роботів та інших мобільних пристроїв у реальному часі. Система включає в себе оптичні сенсори, камери та алгоритми обробки зображень, які дозволяють пристрою визначати своє місцезнаходження в просторі та будувати карту оточуючого середовища.

В таких пилососах оптичні камери використовують для отримання візуальної інформації з оточення та створення карт зображень. Гіроскопи та акселерометри відповідають за визначення положення пристрою у просторі. Застосування алгоритмів SLAM дозволяє не лише визначити положення пристрою в реальному часі, але і одночасно створює карту оточуючого середовища на основі отриманої візуальної інформації.

Переваги оптичних гіроскопів: висока точність визначення місцеположення пристрою; швидке одночасне визначення координат положення та побудова карт в реальному часі; адаптивність до різних умов освітлення завдяки використанню алгоритмів обробки зображень;

Недоліки: значне споживання енергії; перешкоди, такі як темрява або яскраве світло, можуть впливати на роботу оптичного гіроскопу; вища вартість оптичних гіроскопів порівняно з іншими типами сенсорів.

### **Лазерна навігація за допомогою лідара.**

Лазерна навігація з використанням лідара (Light Detection and Ranging) є технологією, яка використовує лазерне випромінювання для вимірювання відстаней та створення точної карти оточення. Ця технологія широко використовується в роботах-пилососах, безпілотних автомобілях, роботах-

промислових пилососах, а також в інших автономних системах. Вона дозволяє пристрою точно визначати своє положення в просторі та уникати перешкод.

Принцип дії полягає в наступному: лідар випромінює лазерні промені в різних напрямках в навколишнє середовище. Детектор лідача реєструє час, який потрібно лазерному променю для повернення в приймач після відбиття від поверхні перешкоди. Знаючи швидкість поширення світла у повітрі, система визначає відстань до об'єкта, використовуючи вимірний час відгуку. Після чого будуються точні 3D-карти оточуючого простору.

Переваги лазерної навігації за допомогою лідача: висока точність вимірювань відстані та створювання карт оточуючого середовища, що дозволяє надійно визначати розташування перешкод та місцезнаходження пристрою; отримання даних в реальному часі; ефективні при використанні на значній площині; можуть працювати в різних умовах освітлення та погоди, оскільки вони не залежать від зовнішнього освітлення.

Недоліки лазерної навігації за допомогою лідача: значна собівартість; менший час автономної роботи;

Лазерна навігація з допомогою лідача є однією з ефективних технологій для створення точних та надійних систем автономної навігації.

## **ВИСНОВКИ**

В даній роботі були розглянуті різні типи систем навігації. Всі вони застосовуються, на сьогоднішній день, при розробці роботів пилососів. Головними критеріями вибору систем орієнтації робота пилососа є: економічність; енергоефективність; точність визначення орієнтації пристрою в просторі; можливість вистежування місцеположення пристрою в реальному часі; ефективність системи; зона прибирання; адаптивність та інше.

Не існує рекомендацій, які б однозначно надали перевагу одному типу з існуючих систем навігації роботів пилососів. Зазвичай вибір системи навігації для роботів-пилососів залежить від конкретних потреб та умов експлуатації.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] MPU-9250 [Електронний ресурс] : Компел  
<https://www.compel.ua/infosheet/INSENSE/MPU-9250>
- [2] Класифікація мобільних роботів [Електронний ресурс] : Хел пікс.Орг -  
Інтернет помічник <http://helpikis.org/6-11883.html>
- [3] Побутові роботи [Електронний ресурс] : RoboTrends  
<http://robotrends.ua/robopedia/uborka-i-roboty>
- [4] Чим відрізняються навігаційні модулі в роботах пилососах? Який краще?:  
<https://robotics.ua/otlychiya-navyhatyuy-v-robotakh-pylesosakh/>

*Наук. керівник – доцент, Богдан Г.А*



## УДК 681.5

Б. І. Давиденко, студент гр. ПМ-21мп, д.т.н., проф. Черепанська І. Ю.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ В ЖИТЛОВОМУ БУДИНКУ

**Анотація.** Стаття присвячена актуальній проблемі енергозбереження у житлових будинках та приміщеннях шляхом розробки системи інтелектуального керування енергозбереженням в житловому будинку (СІКЕЖБ). Пропонована СІКЕЖБ являє собою складну макросистему, що містить у своєму складі функціонально зв'язані підсистеми, які організовані у вигляді окремих модулів. Основним програмним засобом для обробки інформації в режимі он-лайн є модуль штучного інтелекту. СІКЕЖБ забезпечує дистанційну передачу інформації з використанням бездротових мереж Wi-Fi та ZigBee.

**Ключові слова:** штучний інтелект; автоматизована система керування; структурна схема; вимірювання; бездротовий зв'язок; енергозбереження.

## ВСТУП

Впровадження автоматизованих систем керування різними процесами, у тому числі енергозбереженням у житлових будинках і приміщеннях для оптимізації енергоспоживання, є актуальною задачею, успішне вирішення якої дозволяє забезпечити комфортне перебування людини у приміщенні, а також економію фінансових та енергетичних ресурсів. З огляду на постійно зростаючі вимоги щодо економії енергоспоживання та підвищення рівня енергобезпеки до так званих «розумних будинків», що існують на світовому ринку, висувуються нові вимоги щодо точності, швидкодії, рівня автоматизації. Вказане спонукає розробку нових або вдосконалення існуючих систем автоматизованого керування енергозбереженням у житлових будинках та приміщеннях. Очевидно, що особливої актуальності набувають питання застосування новітніх інформаційно-комп'ютерних технологій, у тому числі технологій штучного інтелекту, ефективність яких не викликає сумніву, зважаючи на набутий досвід застосування технологій штучного інтелекту в автоматизованих системах керування різними складними об'єктами та процесами. Адже елементи систем штучного інтелекту здатні ефективно працювати у динамічних умовах навколишнього середовища, що характеризується частковою невизначеністю.

## АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

Проведений аналіз відомих інформаційних джерел [1-5] показав, що існує досить велика кількість різноманітних систем, які дозволяють керувати енергобезпекою житлових будинків та приміщень. Всі ці системи мають різні структури, елементний склад, ґрунтуються на застосуванні різних інформаційно-комп'ютерних технологій та алгоритмів. Зокрема у роботі [1] розроблено алгоритм керування споживанням енергією розумного дому. Проте, алгоритм є досить складним, а споживачам доведеться пожертвувати власним комфортом, зокрема, температурою води та приміщення. Такі суттєві недоліки унеможливають практичне застосування алгоритму без його суттєвого доопрацювання.

У статті [2] розроблена автоматизована системи керування процесами у житлових будинках та квартирах, що реалізована на основі 8-бітного вбудованого мікропроцесору та оптичних реле, має бездротовий зв'язок, та спеціальну програму, що встановлюється на мобільний пристрій. Проте, представлена у статті система керування, має технічні

обмеження, що полягають у недостатній кількості виводів GPIO мікропроцесору, його малій продуктивності та обсягу пам'яті. Автори зазначають, що у майбутньому вони замінять його на інший, який матиме кращі технічні показники.

У статті [3] запропонована ідея автоматизованого керування енергозбереженням, що передбачає застосування мікрокомп'ютера Raspberry Pi, релейних схем із деяких датчиків для визначення стану вкл. / викл енергоспоживаючих пристроїв, а також елементів систем штучного інтелекту. Для активації системи керування розроблено мобільний додаток на платформі Android. Проте, інформацію у статті щодо структури та елементного складу системи керування подано дещо обмежено та фрагментарно. Це ускладнює використання поданої у статті інформації для синтезу автоматизованої системи керування.

У статті [4] описана система автоматизованого керування енергозбереженням та безпекою, що побудована на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi, датчика температури LM35, PIR-датчика присутності, датчиків освітлення та відеокамери. Вона здатна керувати роботою побутових приладів за рахунок чого досягається економія електроенергії. При розробці системи автори статті застосували концепцію Інтернет-речей, при якій автоматизоване керування здійснюється через Інтернет та мобільний додаток. Проте, представлена у статті система, має недостатній рівень автоматизації, що полягає у тому, що авторами акцент зроблений на дистанційному моніторингу працездатності побутових приладів і передбачає, що основне керування здійснюється вручну людиною.

У статті [5] описана система автоматизації, яка здатна керувати освітленням, двигуном та побутовою технікою, подавати звукові сигнали, використовуючи реле та Raspberry Pi. Автоматизоване керування здійснюється дистанційно з використанням Wi-Fi та мобільного додатку. Аналізуючи статтю, можна дійти висновку, що система має обмежений радіус дії, який визначений зоною квартири. Крім того, інформація, щодо повної структури системи подана фрагментарно, що унеможлиблює її повноцінне використання без суттєвого доопрацювання.

Таким чином, не зважаючи на значні наукові та практичні здобутки, проблема автоматизованого керування енергозбереженням у житлових будинках та приміщеннях ще не повністю вирішена.

## **МЕТА ТА ЗАВДАННЯ СТАТТІ**

Мета статті – запропонувати систему інтелектуального керування енергозбереженням в житловому будинку (СІКЕЖБ) з підвищеним рівнем автоматизації, точності та швидкодії.

## **ОПИС СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ В ЖИТЛОВОМУ БУДИНКУ**

Система інтелектуального керування енергозбереженням в житловому будинку (СІКЕЖБ) знаходиться на етапі розробки. Її структурна схема представлена на рис.1 класичною схемою автоматичного керування зі зворотнім зв'язком.

Пропонована СІКЕЖБ являє собою складну макросистему керування (СК), що містить у своєму складі функціонально зв'язані підсистеми, організовані у вигляді окремих модулів, зокрема, підсистему підтримки параметрів температури (ППТ),

підсистему підтримки рівня вологості (ППВ), підсистему освітлення (ПО), підсистему керування електроприладами (ПКЕ), підсистему виявлення руху (ПВР).

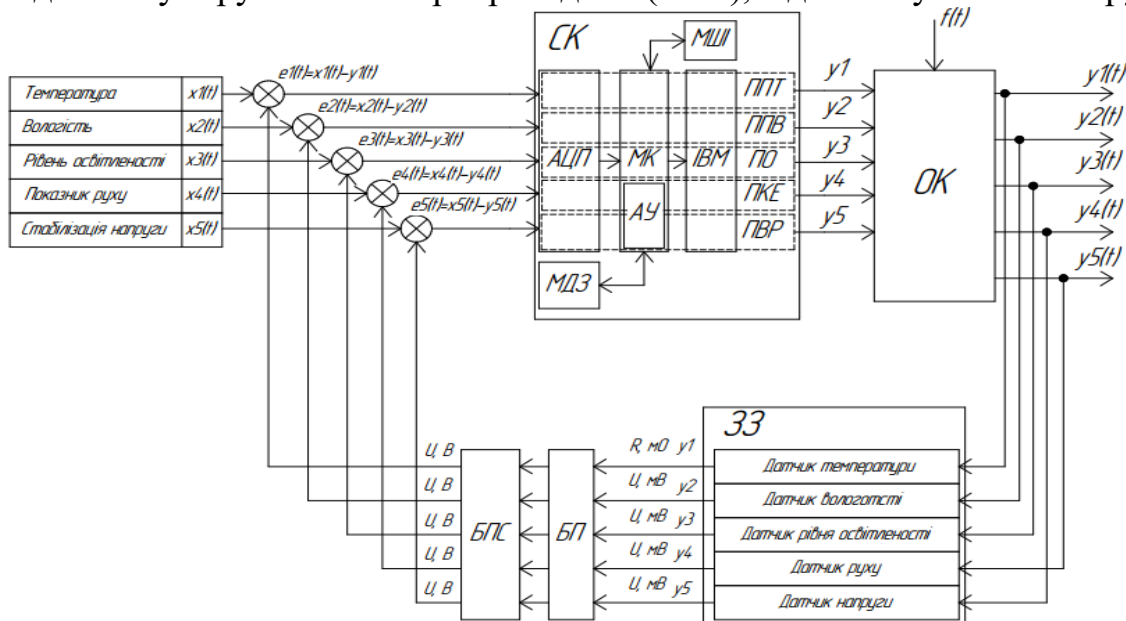


Рисунок 1. Структурна схема СІКЕЖБ

ПІТ призначена для регулювання температури у приміщенні шляхом автоматичного налаштування параметрів і керування роботою обігрівача або інших систем опалення, що наявні в будинку.

ПІВ містить складові компоненти для керування рівнем вологості, зокрема, для підтримки значень вологості приміщення в діапазоні 50-60%. Робота ПІВ може бути організована як комбінація системи вентиляції, обігріву, спеціальних зволожувачів тощо.

ПО містить у своєму складі пристрої освітлення, наприклад розумні лампи, та здатна керувати їх рівнем яскравості та увімкненням / вимкненням.

ПКЕ призначена для керування увімкненням / вимкненням електроприладів, що наявні у будинку.

ПВР призначена для ідентифікації людини у приміщенні та запуску ПО, ПІТ, ПКЕ. ПВР дозволяє економити енергетичні ресурси у випадку відсутності людей, наприклад, шляхом зниження температури в системі опалення та водонагрівання.

Для організації взаємодії між підсистемами призначений модуль інтерфейсу виконавчих механізмів (ІВМ).

Мікроконтролер або мікрокомп'ютер (МК) виконує алгоритм управління (АУ) вимірюваннями та керування виконавчими елементами. Наявний модуль штучного інтелекту (МШІ) дозволяє забезпечити інтелектуальне керування споживанням енергетичних ресурсів, наприклад, електроенергії, природного газу тощо, з метою оптимізації їх витрат при зміні режимів роботи споживачів, в якості яких виступають різні технічні засоби та побутові пристрої.

Робота СІКЕЖБ полягає у регулюванні відхилень поточних станів  $Y_i(t)$  об'єкта керування (ОК) від заданих станів  $X_i(t)$ . Відхилення поточних параметрів  $Y_i(t)$ , зокрема значення температури, вологості, рівня освітленості, значення руху в кімнаті від заданих  $X_i(t)$  обумовлюється впливом на ОК зовнішніх збурюючих факторів  $f(t)$ .

Зворотній зв'язок (ЗЗ) СІКЕЖБ організований датчиками температури, вологості, датчиком руху та датчиком напруги. Інформація від датчиків поступає

через блок перетворювачів (БП), блок підсилювачів сигналів (БПС) та аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) на вхід МК. Основним програмним засобом, що використовується для обробки інформації в режимі он-лайн є МШІ. Особливістю системи є можливість дистанційної передачі інформації за допомогою модулю дистанційного зв'язку (МДЗ), що використовує бездротові мережі Wi-Fi та ZigBee. ZigBee є бездротовим протоколом зв'язку, який розроблений для систем з низьким енергоспоживанням та малопотужних пристроїв і систем [7].

## ВИСНОВКИ

У цілому пропонується СИКЕЖБ має наступні важливі переваги: низьке енергоспоживання, здатність підтримувати достатньо велику кількість пристроїв у системі, можливість дистанційного керування з використанням бездротових мереж Wi-Fi та ZigBee, інтеграцію з IoT-технологіями.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Halim H., Festim H., Florim I. An intelligent smart home energy management algorithm. Journal of Natural Sciences and Mathematics of UT, Vol. 5, No. 9-10. 2020. P.5968. URL: [https://www.researchgate.net/publication/349766578\\_an\\_intelligent\\_smart\\_home\\_energy\\_management\\_algorithm](https://www.researchgate.net/publication/349766578_an_intelligent_smart_home_energy_management_algorithm).
- [2] Emmanuel A. A., Kwame Agyeman-Prempeh, Christian A. G., Kwadwo Ntiamoah-Sarpong, James D. Smart Home Energy Management System based on the Internet of Things (IoT). (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol.12, No.2, 2021. P. 722-730. DOI: 10.14569/IJACSA.2021.0120290.
- [3] Rizwan M., Nurul A. A., Imran A., Yousaf B. Z., Muhammad F. M., Muhammad U. An Intelligent, Secure, and Smart Home Automation System. Hindawi. Scientific Programming. Volume 2020, ArticleID4579291. P.1-14. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/4579291>.
- [4] Diponkar K., Tushar K. D., Md. Ebrahim K., Abdullah A. M. Smart Home Automation System Using on IoT. International Journal of Scientific & Engineering Research. Volume 11. Issue 6, June. 2020. P. 697-701 DOI: 10.14299/ijser.2020.06.03.
- [5] K. Venkatesh. P. Rajkumar, S. Hemaswathi, B. Rajalingam. IoT Based Home Automation Using Raspberry Pi. Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 10, 07-Special Issue, 2018. P. 1721-1728.
- [6] Теслюк В. М., Казарян А.Г. Вибір оптимального типу штучної нейронної мережі для автоматизованих системи «розумного» будинку. Науковий вісник НЛТУ України, 2020, т. 30, № 5. С.90-93. DOI: <https://doi.org/10.36930/40300515>.
- [7] Kamran T., Mohsen G., Nazila R., Sayyad N., As'ad A. An Overview of the Architecture of Home Energy Management System as Microgrids, Automation Systems, Communication Protocols, Security, and Cyber Challenges. Sustainability 2022, 14, 15938. P.1- DOI: <https://doi.org/10.3390/su142315938>.

*Наук. керівник – д. т. н., проф. Черепанська І.Ю.*

## УДК 62-52

Н.Є. Демочані, студент гр. ПМ-21мп, д.т.н., проф. Черепанська І. Ю.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

### АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ НАНЕСЕННЯ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ КУЗВОНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ

**Анотація.** У статті вирішується актуальна проблема підвищення якості технологічного процесу нанесення лакофарбового покриття на кузовні деталі автомобілів шляхом розробки автоматизованої системи контролю якості нанесення лакофарбового покриття кузовних деталей автомобілів (АСКЯЛП). Структурна схема запропонованої АСКЯЛП розроблена на основі класичної схеми динамічної системи автоматичного керування із зворотнім зв'язком за станом. АСКЯЛП побудована за модульним принципом та характеризується простотою використання, гнучкістю, має підвищений рівень автоматизації, точності та продуктивності.

**Ключові слова:** контроль якості лакофарбового покриття, автоматизація процесів контролю, автоматизована система, продуктивність, технологічний процес, ремонт автомобілів, кузовні деталі автомобілів.

## ВСТУП

В сучасних умовах ремонту автомобілів до якості нанесення лакофарбових покриттів та їх естетичного вигляду, висуваються підвищені вимоги. З цих позицій, особливої актуальності набувають питання автоматизації процесів контролю якості технологічних процесів (ТП) нанесення лакофарбових покриттів на кузовні деталі автомобілів. З огляду на те, що якість – це комплексне поняття, що містить сукупність різних властивостей об'єкта, основними показниками якості ТП нанесення лакофарбових покриттів є рівномірність покриття, його товщина, відповідність кольору та ступінь глянцею. Визначення цих показників в режимі реального часу з високою точністю без зупинки ТП є досить трудомістким та довготривалим процесом, що вимагає розробки і впровадження відповідних автоматизованих систем.

## АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

Проведений аналіз відомих інформаційних джерел щодо контролю якості лакофарбових покриттів кузовних деталей автомобілів показав, що наразі питання розробки автоматизованих систем контролю якості ТП нанесення лакофарбових покриттів знаходиться на низькому рівні. Так у статті [1] розглядається система виявлення дефектів покриття деталей автомобіля, робота якої заснована на дефлектометрії. Автори зазначають, що розроблена ними система здатна успішно виявляти як великі, так і малопомітні дефекти на деталях автомобілів. Для цього застосовується маніпулятор промислового робота та відеокамера. Це дозволяє визначати якість покриття поверхонь складної геометричної форми. Процес визначення якості покриття відбувається в режимі реального часу, та займає у середньому 0,35 с. Проте, очевидним недоліком представленої системи є обмежені функціональні можливості, що полягають в оцінці якості тільки зовнішнього шару лакофарбового покриття, зокрема ступеню його глянцею, відповідність кольору та можливих малопомітних зовнішніх дефектів, наприклад, подряпин, сколів, корозії тощо. При цьому відсутня можливість автоматизованого визначення інших показників якості, зокрема, товщини та рівномірності усіх шарів лакофарбового покриття (грунтового, фарбного, лакового шарів), а також визначення ступеня чистоти чорнової робочої поверхні та дотримання вимог щодо її попередньої обробки знежирювачами.

У статті [2] наводиться інформація щодо застосування приладів контролю, які

дозволяють оцінювати стан кузова та лакофарбового покриття автомобіля, а також виявляти його дефекти. Проте, відсутня інформація щодо можливості автоматизації цього процесу.

У статті [3] наведено інструменти для статистичного контролю дотримання технологічних норм ТП нанесення лакофарбового покриття та інструменти графічного відображення даних ТП. Проте відсутня система автоматизованого контролю якості лакофарбових покриттів деталей автомобілів як така. Але наведена інформація щодо визначення пріоритетності дефектів, статистичного аналізу причин, їх виникнення та можливих способів усунення, може бути використана після відповідного доопрацювання при розробці відповідних систем автоматизованого контролю якості ТП нанесення лакофарбового покриття.

У статті [4] розглядається ідея впровадження системи контролю для перевірки наявності дефектів покриття кузовних деталей. Детально описуються типи перевірок, які виконуються системою контролю та типи дефектів, які кожна з цих перевірок може визначати. Автори наголошують на необхідності використання інструментів контролю якості, у даному випадку вимірювальних систем та комплексної верифікації, що дозволяє своєчасно провести корегувальні дії для усунення браку. Критичним недоліком статті є те, що в ній не наводиться конкретна структура системи автоматизованого контролю, матеріал подано фрагментарно та декларативно, представлені пропозиції можна використовувати тільки після додаткового доопрацювання.

## **МЕТА РОБОТИ**

Запропонувати автоматизовану систему контролю якості нанесення лакофарбового покриття кузовних деталей автомобілів.

## **ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ НАНЕСЕННЯ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ КУЗОВНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ**

Пропонована автоматизована система контролю якості нанесення лакофарбового покриття кузовних деталей автомобілів (АСКЯЛП) призначена для контролю якості лакофарбового покриття кузовних деталей автомобілів та використовується на всіх етапах ТП для:

- 1) автоматизованої перевірки якості очистки робочої поверхні від бруду та інших агресивних речовин, що перешкоджатимуть міцному зчепленню ґрунтовки з робочою поверхнею, що виконується на першому етапі ТП;
- 2) автоматизованого контролю нанесення ґрунтового шару, аналізу його рівномірності та товщини, що виконується другому етапі ТП;
- 3) автоматизованої перевірки товщини, рівномірності, ступені глянце та відповідності кольору чорного та чистового шарів нанесеної фарби, що здійснюється на третьому етапі ТП;
- 4) автоматизованого контролю нанесення фінального лакового шару, визначення величини шорсткості для встановлення ступеню глянце, що виконується на четвертому етапі ТП.

Узагальнена структурна схема АСКЯЛП представлена на рис. 1. Вона розроблена за

класичною схемою динамічної системи керування із зворотнім зв'язком (33) за станом, що наведена в літературі [5]. В таких системах автоматизоване керування здійснюється за відповідною програмою. Зокрема, для запропонованої АСКЯЛП керування полягає у врегулюванні відхилень поточного стану  $Y(t)$  об'єкта керування (ОК), яким є кузовна деталь автомобіля, що піддається фарбуванню, від заданого стану  $X(t)$ , зокрема, наперед визначених показників якості. Вхідними параметрами  $X(t)$  є чотири основні параметри, що дозволяють оцінити якість ТП нанесення лакофарбового покриття: товщина покриття, рівномірність нанесення, відповідність базовому кольору та рівень глянце.

Відхилення поточного  $Y(t)$  стану показників ОК від заданого  $X(t)$  обумовлюється впливом на ОК різних збурень  $f(t)$ , якими можуть бути, наприклад, різкі зміни температури та вологості повітря навколишнього середовища, запиленість робочого місця, стрибки тиску в компресорній системі, що викликають перебої у поданні фарби.

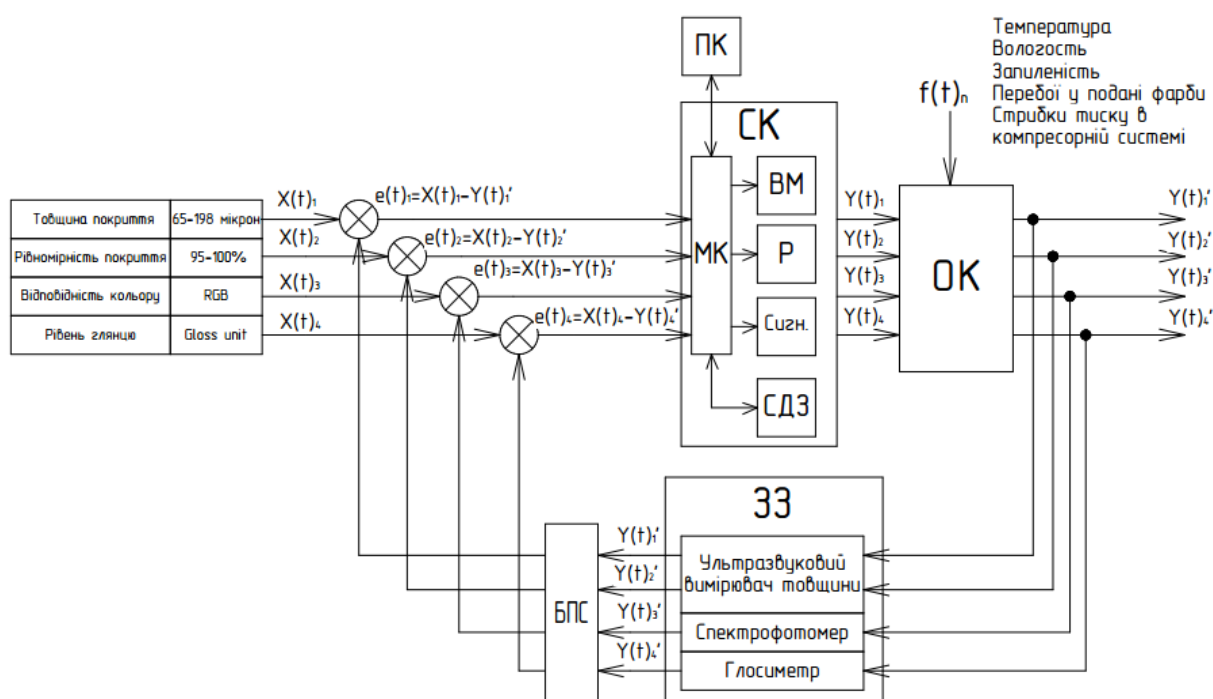


Рисунок 1. Принципова схема АСКЯЛП

АСКЯЛП є складною системою, що складається із функціонально зв'язаних, різних за складом, виконуваними функціями та призначенням модулів та підсистем. Зокрема, мікроконтролер (МК) призначений для первинної обробки сигналів, що отримуються в результаті вимірювання товщини та рівномірності покриття, відповідності кольору та ступеня глянце, що потім передаються до інших блоків системи, зокрема персонального комп'ютеру (ПК), блоку виконавчих механізмів (ВМ), регулятора (Р), блоку сигналізації (Сигн).

ПК використовується користувачем для візуалізації виконання ТП, спостереження за результатами вимірювання. Р застосовується для регулювання витрати фарби із пульверизатора. Блок Сигн призначений для повідомлення користувача про виникнення позаштатної екстреної ситуації.

У якості ЗЗ використовуються датчики та спеціальні вимірювальні пристрої, інформація від яких подається на вхід системи, наприклад, ультразвуковий товщиномір, тригонометричний глосиметр, датчик кольору на кремнієвих фотодіодах,

спектрофотометр тощо. Зокрема ультразвуковий товщиномір, що виконаний у вигляді зонду, використовується для вимірювання товщини покриття шляхом формування високочастотного вихідного електричного сигналу, який після перетворення у цифрову форму в блоці перетворення сигналу (БПС) подається на вхід МК. Для вимірювання яскравості поверхні, зокрема блиску лакофарбового покриття використовується тригонометричний глосиметр, що оснащений кольоровим РК-дисплеєм. Для визначення відповідності кольору використовується датчик кольору на кремнієвих фотодіодах, наприклад, кольору TCS230, що має цифровий вхід і вихід, які дозволяють його безпосередньо підключати до мікроконтролеру.

Застосування у складі пропонованої АСКЯЛП уніфікованих високоточних датчиків та вимірювальних приладів промислових зразків забезпечує її гнучкість, легку ремонтпридатність та модернізацію.

## **ВИСНОВКИ**

Пропонована АСКЯЛП може бути використана для автоматизованого контролю якості на всіх етапах ТП нанесення лакофарбового покриття на кузовні деталі автомобілів при їх ремонті.

Побудована за модульним принципом АСКЯЛП характеризується простотою використання, гнучкістю, має підвищений рівень автоматизації, точності та продуктивності.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] An Efficient Automotive Paint Defect Detection System. / A. Kumar, S. K. Singh // Asian Journal of Engineering and Applied Technology. – 2019. – Vol. 4. – No. 3. – P. 23-28. – DOI:10.25046/aj040323
- [2] Світличний В.А. Контроль товщини шару лакофарбового покриття кузова автомобіля / В.А. Світличний, К.О. Кратасюк // Збірник тез доповідей XXIV наук.-практ. конф. курсантів та студентів «Актуальні проблеми сучасної науки і правоохоронної діяльності», м. Харків, 17.05.2017р. /Харківський національний університет внутрішніх справ. – 2017. – С.213 – 214
- [3] Rana, M., Zhang, X., & Akher, S. A., Determination of Factors and Quality Control of Car Painting Based on FMEA and SPC.V2. Modern Mechanical Engineering, 08(02), P.158-177 (2018). DOI: <https://doi.org/10.4236/mme.2018.82011>
- [4] Quality Control in Automobile Manufacturing Industries. / U. Somvanshi // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. – 2020. – Vol. 8. – No. 6. – P. 8-15. – DOI:10.22214/ijraset.2020.6120
- [5] Сучасні інформаційні технології та системний аналіз у наукових дослідженнях: навч. посіб. для здобувачів освітнього ступеня доктора філософії спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” всіх форм навчання / І. Ю. Черепанська, А. Ю. Сазонов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 270 с. [0]

*Науковий керівник - д.т.н., професор Черепанська І.Ю.*



## УДК 628.8

А.А. Косінська, студентка гр. ПМ-01, д.т.н., доц. Киричук Ю. В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТА ПІДВАЛЬНОГО ПРИМІЩЕННЯ

**Анотація.** У дослідженні виконано критичний аналіз існуючих методів, принципів та підходів до контролю параметрів мікроклімату в підвальних приміщеннях. Оскільки ці установи є часто використовуваними та у реаліях орієнтовані на збереження життя людей, основні параметри відповідно до ISO 7730 включають температуру, вологість, якість повітря, рівень електромагнітного випромінювання та рівень запиленості. Виявлено, що найбільш перспективні засоби для моніторингу полягають у розробці систем на основі штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж, через їх високу надійність та можливість безперервної роботи.

**Ключові слова:** підвальне приміщення, температура, тиск.

#### ВСТУП

У сучасному світі підвальні приміщення відіграють важливу роль як багатофункціональні простори. Їхнє використання варіюється від зберігання різних матеріалів та обладнання до технічної підтримки основної будівлі.

Система мікроклімату в підвальних приміщеннях вимагає особливої уваги, оскільки вона може впливати не тільки на зберігання товарів, але й на стан технічних систем і роботу обладнання, а також на здоров'я і комфорт користувачів. Температурний режим, вологість, якість повітря та рівень електромагнітного випромінювання є ключовими для ефективного управління підвальними приміщеннями.

У цій статті не тільки розглядаються новітні методи і підходи до контролю параметрів мікроклімату в підвальних приміщеннях, а й їх роль як потенційного укриття в надзвичайних ситуаціях. З огляду на міцність і надійність підвальних приміщень, вони можуть бути ефективними укриттями для захисту людей і майна в разі небезпеки.

#### МЕТА

Метою дослідження є оптимізація системи мікроклімату в підвальних приміщеннях, включаючи аналіз існуючих методів, визначення оптимальних параметрів, розробку методів контролю та дослідження можливості використання підвалів як укриття в екстремальних умовах.

#### МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним з основних факторів, що впливають на комфортні мікрокліматичні умови в будь-якому приміщенні є температура. Чинні норми рекомендують підтримувати температуру в межах 2-3°C. Комфортною вважається температура 22-25°C в теплу пору року, 18-22°C взимку і 18°C в робочій зоні (рисунок 1). Автоматичне регулювання температури може бути досягнуто за допомогою інтелектуальних систем управління, які враховують інформаційну невизначеність і відповідають вимогам стандарту ISO 7730.

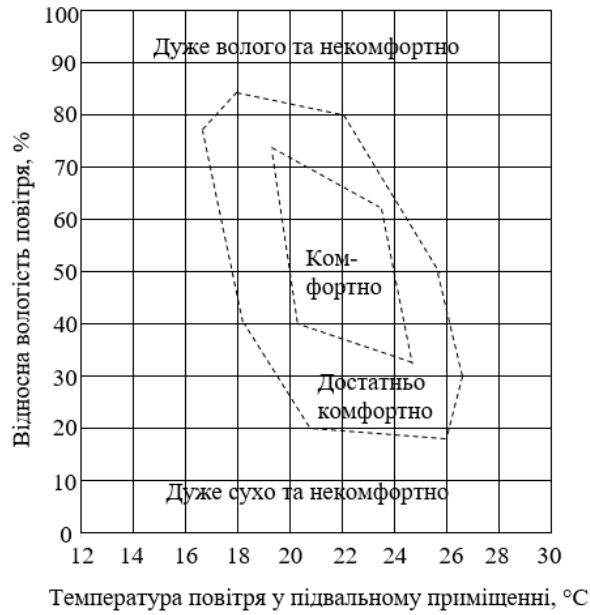


Рисунок 1. Графік комфортності згідно ISO 7730

Формування штучного мікроклімату є технічним процесом зі змінними параметрами, а приміщення відіграють важливу роль в управлінні ним, особливо кондиціонування повітря та змінні навантаження (рисунок 2).

Аналіз управління мікрокліматом у сховищах виявляє три алгоритми:

- 1) аналіз параметрів і використання існуючих алгоритмів;
- 2) використання інформаційних систем для вибору найкращого рішення;
- 3) використання адаптивних інформаційних систем для модифікації алгоритму.



Рисунок 2. Загальна схема управління мікрокліматом з використанням інтелектуальних систем

На рисунку 2 позначено параметри Т – температура, Р – тиск, φ – відносна вологість, що отримана з внутрішніх і зовнішніх датчиків приміщення.

Блок управління - це система, яка постійно оновлює свою базу даних, щоб адаптуватися до мінливих умов всередині і зовні приміщення. Використовуючи мікропроцесорну технологію та мережу датчиків, мікроклімат можна точно контролювати та ефективно регулювати. На рисунку 3 показана блок-схема мікроконтролера для оцінки мікроклімату в підвалі. Система моніторингу включає датчики, які вимірюють різні параметри комфорту, а мікроконтролер обробляє і реагує на ці дані, щоб забезпечити відповідність встановленим стандартам.

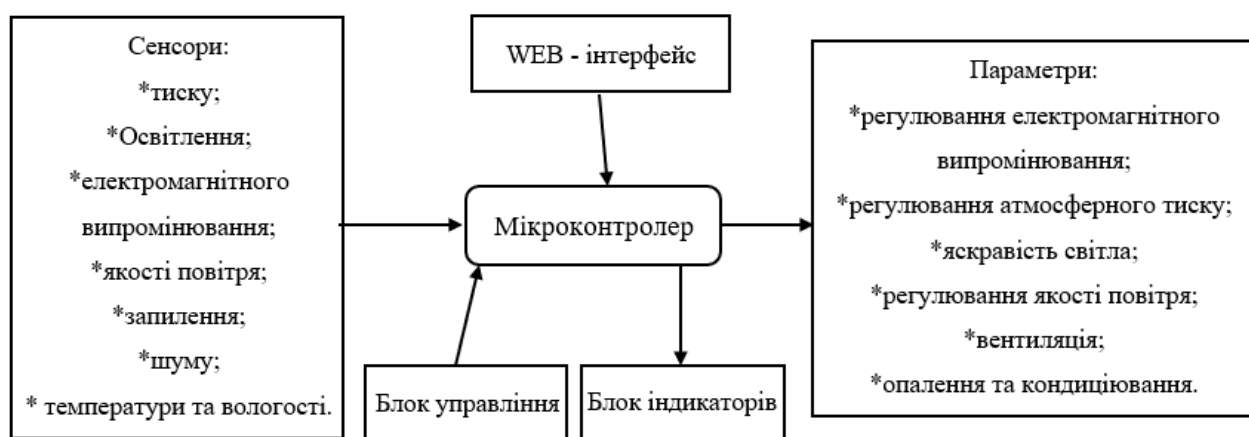


Рисунок 3. Типова структурна схема контролю параметрів мікроклімату підвального приміщення

При проектуванні інтелектуальних систем контролю мікроклімату важливо враховувати наступне:

- 1) На параметри впливають зовнішні та внутрішні фактори, такі як добові та сезонні.
- 2) Параметри сильно змінюються за обсягом і в часі.

Рекомендується використовувати інтелектуальні пристрої smart-МАС, які забезпечують доступ до даних в режимі реального часу і гарантують їх зберігання в хмарі. Інтелектуальні системи на основі нейронних мереж дозволяють аналізувати, розпізнавати і вивчати зміни під час роботи, забезпечуючи ефективне управління мікрокліматом (рисунок 4). Технологія ШІ (штучного інтелекту) також дозволяє здійснювати цілодобовий моніторинг мікроклімату в режимі реального часу, використовуючи інтелектуальний аналіз даних для обробки і контролю параметрів.



Рисунок 4. Моделі нейронних мереж

Перший тип мереж використовується для прогнозування та розпізнавання образів, другий - для оптимізації обчислень та асоціативної пам'яті, а третій - для кластерного аналізу. Перший тип мереж найкраще підходить для моніторингу параметрів мікроклімату, оскільки він здатний до прогнозування, побудови експертних систем та обробки сигналів. Нейронні мережі, що само організуються, є перспективним інструментом для створення алгоритмів, які дозволяють ефективно аналізувати дані за допомогою карт Кохонена. Зауважимо, що для досягнення надійності, необхідної для систем обробки інформації з використанням нейронних мереж, необхідно застосовувати різні

методи, такі як розробка та модифікація алгоритмів, використання апаратної та інформаційної надмірності, перенавчання нейронних мереж.

### **ВИСНОВОК**

У дослідженні були використані інструменти штучного інтелекту, такі як нейронні мережі, для визначення ефективних заходів контролю мікроклімату в підвальних приміщеннях. Аналіз параметрів комфорту показав, що температура, вологість, освітлення, електромагнітне випромінювання, пил та якість повітря визначають основні умови в цих місцях. Використання штучного інтелекту, такого як нейронні мережі, дозволяє здійснювати безперервний моніторинг та підтримку оптимальних умов.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Голінко І.М., Галицька І.Є. Промислове приміщення як динамічний елемент системи керування штучним мікрокліматом Інформаційні системи, механіка та керування. - 2018. - Вип. 18. - С. 104-114. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ismk\\_2018\\_18\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ismk_2018_18_15)
- [2] Купін А. І., Музика І. О., Кузнєцов Д. І. Структура експертної системи інтелектуального регулювання мікроклімату житлових приміщень. Науковий журнал «Радіоелектроніка, інформатика, управління». Запорізький національний технічний університет, №1(40) Н 2017 с. 170-177
- [3] Ganna Khimicheva, Oleksii Dziuba Background for developing the parameter control system of the comfort zone of office premises: Development of scientific, technological and innovation space in Ukraine and EU countries – 3rd ed. – Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2021. – p. 101-117.

*Наук. керівник – доцент д.т.н. Киричук Ю.В.*

**УДК 681.121:681.324.06**

*О. С. Кравченко, студент гр. ПМ-21мп, к.т.н., доцент Писарець А. В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОРГАНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ВИТРАТ ВОДИ**

**Анотація.** Точний облік витрат води дозволяє оптимізувати процеси її споживання. Велика кількість існуючих вузлів обліку води та встановлення нових свідчать про необхідність створення автоматизованих систем обліку витрат води. Обґрунтовано структурний склад такої системи та запропоновано створення бездротової системи автоматизованого обліку витрат води вихровими витратомірами з тілом обтікання на підґрунті IoT-технологій.

**Ключові слова:** автоматизовані вимірювання, облік, витрата, витратомір, система передачі даних.

### **ВСТУП**

Одною з головних проблем людства є кількість води, придатної для задоволення його потреб. Це стосується різних галузей промисловості, комунального господарства та побуту. Тому одним з важливих питань є точний облік витрат води, який передбачає організацію відповідних вимірювальних вузлів, що дозволить оптимізувати процеси її споживання.

З огляду на поширення і розповсюдженість вузлів обліку води, вимоги до точності та швидкості обліку, можна стверджувати, що зростає потреба у створенні систем автоматизованого виконання вимірювань, збору, передачі та обробки даних.

Важливими аспектами при цьому постають питання вибору засобу вимірювання витрати для забезпечення вимог до якості вимірювань, а саме: точності, надійності, довговічності тощо, а також використання надійних та швидких мережевих технологій. Зазначені питання вказують на важливість та необхідність розробки та впровадження нових методів організації та побудови автоматизованих систем обліку витрат та кількості води.

Метою роботи є обґрунтування структурного складу системи автоматизованого обліку води.

### **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ВИТРАТ ВОДИ**

Створення автоматизованої системи обліку дозволяє [1 – 3]: підвищити ефективність використання води; передавати результати вимірювань на відстань; здійснювати моніторинг та аналіз витрат; визначати витрати в системі та інші нештатні ситуації в її роботі.

У загальному випадку система автоматизованого обліку витрат повинна містити такі елементи (рис. 1):

- прилад обліку;
- первинні перетворювачі параметрів потоку (температури, тиску тощо);
- обчислювальна система (з мікроконтролером);
- система дистанційної передачі даних;
- система енергоживлення (враховуючи аспект енергозбереження);
- локальна енергонезалежна пам'ять для збереження результатів вимірювання.

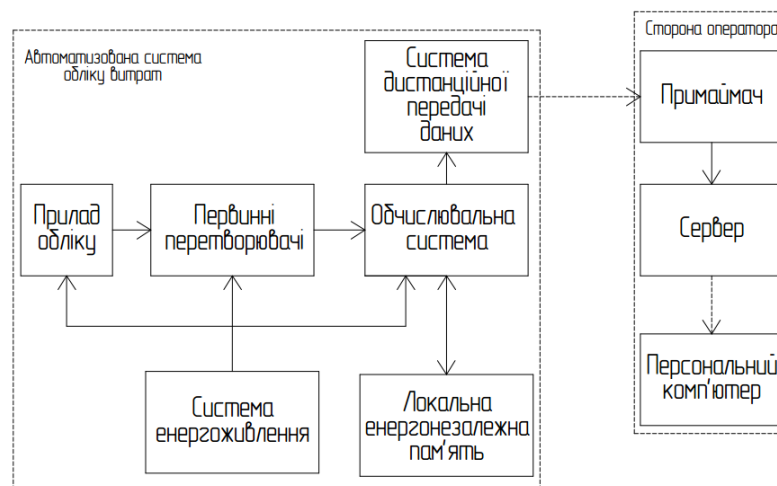


Рисунок 1. Структурна схема системи автоматизованого обліку витрат

Розглянемо зазначені елементи системи.

Основою для створення системи є прилади обліку, у даному випадку – витратоміри. Для вимірювання витрати рідин, зокрема води, застосовуються багато різних методів. Серед них найбільшого поширення у вимірювальній практиці набули методи змінного перепаду тиску, тахометричні, ультразвукові, електромагнітні та вихрові. Кожен з цих методів має свої особливості, які визначають області застосування приладів, що їх реалізують.

Для здійснення вимірювань в технологічних процесах, керування потоками різних газів, рідин, пари та інших однофазних середовищ у опаленні та електропостачанні; медичних дослідженнях; нафтохімічній, металургійній та інших галузях промисловості застосовуються вихрові витратоміри [4 – 6].

Принцип дії вихрових витратомірів ґрунтується на використанні вихрових коливань, створюваних вимірюваним потоком. При цьому витрата вимірюється використанням природних фізичних властивостей досліджуваного потоку без внесення до нього рухливих елементів. Серед усіх вихрових витратомірів найбільшого розповсюдження набули витратоміри з тілом обтікання, яким притаманні [7]:

- висока точність;
- частотний вимірювальний сигнал;
- універсальність конструкції (застосовність одної конструкції для вимірювання витрат рідин, газів і пари);
- відсутність у потоку рухомих частин;
- простота і надійність перетворювача витрати;
- незалежність результатів вимірювання від зміни параметрів контрольованого потоку в межах певного діапазону чисел Рейнольдса;
- широкий діапазон температур вимірюваного середовища;
- широкий діапазон вимірювання;
- лінійність шкали;
- стабільність показань;
- відсутність вимог до шорсткості трубопроводу;
- низькі вимоги до співвісності і забезпечення довжини прямих ділянок.

При цьому застосування вихрових витратомірів не рекомендовано при вимірюванні забруднених рідин, пульсуючих потоків, за малих значень числа Рейнольдса. Принцип дії таких витратомірів базується на вимірюванні частоти зриву вихорів з поверхні нерухомого тіла з поганим обтіканням, розміщеного в потоку рідини [4 – 6].

Для об'єднання вихрових витратомірів об'єкту автоматизації в систему обліку витрат застосовується **система дистанційної передачі даних**.

В якості вихідного сигналу приладу зазвичай використовується один з широко розповсюджених цифрових інтерфейсів: RS 485, M-bus, Modbus тощо. Підключення такого приладу до системи передачі даних здійснюється через спеціальний модем, вхідним сигналом якого є вихідний інтерфейс приладу, а вихідним – сигнал відповідної інформаційної інфраструктури [2, 3].

Зазначена інфраструктура може бути дротовою та бездротовою. У випадку дротової системи передачі даних застосовуються стандарти RS 485, M-bus. Архітектура таких мереж може бути довільною та складатися з фрагментів лінійної, дерево- та зіркоподібної топології [2].

Бездротові системи створюються на основі технологій GPRS або IoT, що представлена стандартами LoRaWAN та NB-IoT [3].

Характерною особливістю мереж IoT є можливість поєднання різноманітних об'єктів, що унікально ідентифікуються і можуть взаємодіяти між собою шляхом IP-підключення без втручання людини.

Стандарт LoRaWAN (Long Range Wide Area Network – глобальна мережа великого радіусу дії) забезпечує мережевий принцип передачі даних на великі відстані й призначений для одночасного обслуговування значної кількості малопотужних абонентських пристроїв, зокрема приладів обліку.

Важливою особливістю мережі є можливість одночасного застосування обладнання різних виробників. Усі елементи такої мережі працюють у неліцензованому частотному діапазоні 868 МГц [3].

NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) – це новий стандарт мобільного зв'язку для пристроїв телеметрії з невеликими обсягами передачі даних.

Підключення приладів обліку до мережі NB-IoT вимагає використання спеціальних модемів з SIM-карткою відповідного оператора мобільного зв'язку.

Основними перевагами NB-IoT є [3]: низьке енергоспоживання; велика ємність мережі (десятки і сотні тисяч підключених пристроїв на одну базову станцію; низька вартість кінцевого обладнання (модемів); визначення рівню сигнал/шум у місці розгортання проєкту.

**Первинні перетворювачі** параметрів контрольованого потоку призначені для моніторингу їх значень.

**Обчислювальна система** забезпечує процес обробки даних та керування (працює на базі програмного алгоритму). Обчислювальні системи будуються на базі мікропроцесорних систем (мікроконтролерів), які організують роботу і взаємозв'язок між компонентами системи.

**Система енергоживлення** забезпечує електроенергією усі системи які мають у собі електронні компоненти. Вона може працювати від зовнішнього живлення або вбудованої акумуляторної батареї.

Наявність локальної підсистеми енергонезалежного збереження даних обумовлена тим, що система не виконує дистанційний прийом та передачу вимірювальних даних в дуже коротких проміжках часу. Однак іноді існує необхідність візуалізації даних щодо витрати в певні короткі проміжки часу, що може забезпечити підсистема локального збереження.

## ВИСНОВКИ

Автоматизовані системи вимірювання та обліку витрат включають у собі не лише витратоміри, але й повноцінний комплекс систем зв'язку, програмного забезпечення та інших компонентів, які у сукупності забезпечують збір, передачу та обробку даних.

На підґрунті аналізу складових автоматизованої системи обліку витрат води запропоновано створити бездротову систему автоматизованого обліку витрат води вихровими витратомірами з тілом обтікання на підґрунті IoT-технологій, що дозволить підвищити ефективність обліку води та оптимізувати режими її споживання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В. Паракуда, В. Орлов, В. Коновалов, “Автоматизована система обліку енергоресурсів споживачами”, *Вимірювальна техніка та метрологія*, № 68, с. 66 – 69, 2008.
- [2] А. В. Писарець, Є. В. Писарець, “Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 1”,/ *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 59(1), с. 95 – 101, 2020. DOI: [https://doi.org/10.20535/1970.59\(1\).2020.210037](https://doi.org/10.20535/1970.59(1).2020.210037).
- [3] А. В. Писарець, Є. В. Писарець, “Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 2”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 60(2), с. 79 – 86, 2020. DOI: [https://doi.org/10.20535/1970.60\(2\).2020.221452](https://doi.org/10.20535/1970.60(2).2020.221452).
- [4] Вихровий витратомір серії STLU. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://uk.silverinstruments.com/product/flow-measurement/>.
- [5] Вихровий витратомір SIEMENS SITRANS FX 300. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://eltaltd.com.ua/catalog/siemens-sitrans-fx300>.
- [6] Фланцевий вихровий витратомір Rosemount 8800DF020. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.emerson.com/en-us/catalog/rosemount-sku-8800df020>.
- [7] А. В. Писарець, А. М. Мельник, О. О. Драчук, “Про вибір оптимальної форми тіла обтікання вихрового витратоміра”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 62(2), с. 75 – 81, 2021. DOI: [https://doi.org/10.20535/1970.62\(2\).2021.249237](https://doi.org/10.20535/1970.62(2).2021.249237).

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Писарець А. В.*



**УДК 620.179.16**

*А.В. Куранда, студент гр. ПК-21мп, д.т.н., проф. Киричук Ю.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОСНОВНІ НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БІОПОДІБНИМИ РОБОТАМИ В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0**

*Анотація.* Проаналізовано використання роботизованих систем в неруйнівному контролі. Розглянуто особливості архітектури управління робот. Визначено особливості впливу Індустрії 4.0 на розвиток робототехніки. Запропоновано основні напрями удосконалення системи управління біоподібними роботами в неруйнівному контролі.

**Ключові слова.** Неруйнівний контроль, біоподібні роботи, архітектура, система управління, Індустрія 4.0.

### **ВСТУП**

Неруйнівний контроль (НРК) має важливе значення для визначення цілісності та управління ефективністю капітальних активів у критично важливих галузях, таких як аерокосмічна, нафтохімічна, енергетика, транспорт, трубопровідна,

Включення робототехніки в сферу НРК стало поворотним моментом в еволюції цієї сфери. Це злиття технологій і неруйнівного контролю знайшло своє початкове коріння в кінці 20-го століття, особливо в 1980-х і 1990-х роках. У цю епоху прогрес у комп'ютерних технологіях та робототехніці призвів до створення спеціалізованого роботизованого обладнання, адаптованого для застосувань у НРК [1].

Сьогодні робототехніка використовується для кількох методів контролю, щоб отримати доступ до важкодоступних місць і вберегти інспекторів від небезпеки. Крім того, її використання дає можливість досліджувати конструкції зі складною геометрією.

Разом з тим Індустрія 4.0 вносить свої коригування в підходи використання різних систем та технологій, зокрема і в робототехніці.

### **МЕТА РОБОТИ**

Визначення основних напрямів удосконалення системи управління біоподібними роботами в неруйнівному контролі в умовах Індустрії 4.0.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Зосередження уваги на автоматизації є наступним великим кроком у підвищенні ефективності тестування і, зокрема, надійності в НРК. Існує безліч операцій обробки та маніпуляцій, пов'язаних з автоматичним тестуванням, які тепер можуть бути замінені роботами. Наразі робототехнічне обладнання стає все більш популярним у НРК.

Індустрія 4.0 охоплює нові технології, які поєднують фізичний, цифровий і біологічний світи, впливаючи на всі дисципліни, економіки, галузі та уряди. Штучний інтелект вже оточує нас, від суперкомп'ютерів, дронів і віртуальних помічників до 3D-друку, розумних термостатів, датчиків, що носяться, і мікрочіпів, менших за піщинку [2]. В Індустрії 4.0 виділяють шість керівних принципів: оперативна сумісність; віртуалізація; децентралізація рішень;

ємність у реальному часі; орієнтація на обслуговування; модульність. Таким чином, злиття технологій для економії часу та прийняття певних рішень і зменшення помилок відрізняє Індустрію 4.0 від інших промислових революцій.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для якісного отримання результату в НРК важливим є ефективна система управління біоподібним роботом, яка повинна бути адаптована до реального середовища.

При цьому необхідно відмітити підхід на основі зчитування датчиків. Датчики в робототехніці відносяться до механічної функції, яка використовується для обчислення стану та навколишнього середовища робота. Цей датчик заснований на функціях органів чуття людини. Роботи отримують широкий спектр даних про навколишнє середовище, таких як положення, розмір, орієнтація, швидкість, відстань, температура, вага, сила тощо. Саме ця інформація дозволяє роботу ефективно функціонувати, взаємодіючи з навколишнім середовищем для виконання складних завдань. Робота роботизованих датчиків походить від принципу перетворення енергії, також відомого як трансдукція. Різним роботам потрібні різні датчики, щоб досягти заходів контролю та гнучко реагувати в навколишньому середовищі [3].

Моделі зчитування датчиків мають інтелект, щоб адаптуватися та працювати в широкому діапазоні реальних умов і середовищ. Моделі штучного інтелекту Levatas (Рис.1 а) працюють із широким спектром платформ візуальної зйомки, починаючи від камер відеоспостереження та одномонтованих камер і закінчуючи просунутими чотириногими роботами та дронами. Викривлення перспективи враховує екологічні проблеми, визнаючи, що одне читання може бути не таким простим, як наступне. Коли постають такі проблеми, як заблокований огляд, конденсат або відблиски, коли чітке зчитування неможливе, модель буде активно шукати зворотний зв'язок від експерта, а не результати з низькою точністю [4]. Оптимізований для непередбачуваних середовищ, робот Guardian S (Рис.1 б) призначений для навігації нерівною, складною місцевістю та обмеженим простором. Крім того, цей робот забезпечує подовжений час роботи та бездротові операції на великій відстані, що робить перевірки та віддалене спостереження більш ефективними, ніж будь-коли раніше [4]. Крабові роботи-краулери. Датчик CRM-180 – це нове досягнення в технології лазерних вимірювань. Датчик вимірює внутрішню геометрію отворів, труб, контейнерів та інших невеликих порожнин простору. Лазерний датчик має можливість сканувати внутрішню поверхню геометрії порожнини на 360° в 4096 кутових точках (Рис.1 в, г)

В основі робота-маніпулятора KUKA представлено нове програмне рішення, яке дозволяє здійснювати гнучке планування траєкторії для обстеження складних криволінійних поверхонь, які часто зустрічаються в інженерному виробництві. Зовсім недавно багато виробників промислових роботів випускали роботизовані маніпулятори з відмінною позиціонуальною точністю і повторюваністю. Промисловий робот визначається як автоматично керований, перепрограмований, багатоцільовий маніпулятор, що програмується по трьох і більше осях [5].



а) Levatas      б) Sarcos Guardian S      в) Crab Crawler      г) CRM-180

Рисунок 1. Моделі роботів

Роботи, оснащені камерами або датчиками LiDAR, можуть переміщатися в обмеженому просторі, нерівній місцевості та небезпечному середовищі, знижуючи ризики для інспекторів. Вони можуть отримувати високоякісні зображення або дані LiDAR, роблячи процес створення віртуальних двійників і 3D-моделей будівель швидшим, безпечнішим і економічно ефективнішим [4].

Роботизовані інспекційні системи можуть отримувати значні обсяги даних. Як наслідок, дослідження роботизованого НРК також повинні включати певні зусилля щодо впровадження нових підходів до візуалізації та аналізу даних. Mineo та ін. [ 6 ] представив важливим є використанням методу вирівнювання зображення для полегшення візуалізації та аналізу роботизованих термографічних перевірок деталей зі складною геометрією. Ця робота усуває технологічний розрив, роблячи термографічні перевірки більш зручними для промислового середовища. Запропонований підхід до вирівнювання зображення може знайти застосування за межами термографічного неруйнівного контролю. Нарешті, Avdelidis et al. [7] пропонують двоетапний процес для автоматизації розпізнавання та класифікації дефектів на основі візуальних зображень. Це можна використовувати з безпілотними літальними апаратами з датчиком зображення для автоматизації процедури та усунення помилок людини.

Іншими важливими моментами в контексті Індустрії 4.0 є хмарні обчислення та системна інтеграція. Це дозволяє підключати практично будь-що – системи до віддалених переглядачів, системи до інших підключених систем, системи на різних заводах і навіть цілі підключені заводи по всьому світу. Стандартизовані інтерфейси для машинного зв'язку, такі як OPC UA, дозволяють системам взаємодіяти.

Цей підхід безпосередньо вплинув на розробку інструментарію MATLAB, орієнтованого на автоматизацію неруйнівного контролю, здатного до складного планування шляху, уникнення перешкод і зовнішньої синхронізації між роботами і пов'язаними з ними зовнішніми системами неруйнівного контролю. Впровадивши повне зовнішнє управління роботизованим обладнанням, вдалося синхронізувати збір даних неруйнівного контролю з позиціями на всіх точках шляху, а наш підхід дозволяє в майбутньому розвивати додаткову функціональність, специфічну для завдань інспекції неруйнівного контролю

Ці роботи, оснащені передовими датчиками, камерами та алгоритмами

штучного інтелекту, можуть виконувати перевірки в небезпечних, важкодоступних або повторюваних середовищах. Робототехнічне обладнання стає все більш популярним у неруйнівному контролі, що підтверджується реальними прикладами роботів, що використовуються в різних додатках неруйнівного контролю в різних галузях промисловості.

Також можливо розглянути гібридну архітектуру управління, яка здатна працювати та адаптуватися до різних середовищ та умов.

## **ВИСНОВКИ**

В даний час управління мобільними роботами стало проблемою загальноновизнаної важливості та інтересу з боку світової наукової спільноти через діапазон застосувань у різних сферах.

Індустрія 4.0 вносить також корективи до проєктування роботизованих систем в неруйнівному контролі. Роботизований НРК повинен розвиватися з розробкою нових інструментів, включаючи автономну робототехніку, симуляцію віртуальних близнюків, Інтернет речей, кібербезпеку, хмарні обчислення. Оскільки чим розумніша система, тим більше допомоги отримують інспектори та це ще більше підвищує якість оцінки зображень.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Transforming Non-destructive Testing Procedures Through Robotics – Режим доступу: <https://www.onestopndt.com/ndt-articles/transforming-non-destructive-testing-procedures-through-robot> – 01.12.2023 р.
- [2] The Fourth Industrial Revolution, by Klaus Schwab | World Economic Forum – Режим доступу: <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab> – 03.12.2023 р.
- [3] Types of Sensors in Robotics – Режим доступу: <https://www.wevolver.com/article/sensors-in-robotics-the-common-types> – 01.12.2023 р.
- [4] Digital Twins - Revolutionizing Inspection Reports | MFE Inspection Solutions – Режим доступу: <https://mfe-is.com/digital-twins-revolutionizing-inspection-reports> – 02.12.2023 р.
- [5] Teoh, E. K., & Wong, C. Y. (1991). An expert system for real-time control of the sir-3 robotic system. in 1991, IEEE International Symposium on Circuits and Systems pp. 2709 – 2712. IEEE.
- [6] Mineo, C.; Javadi, Y. Robotic Non-Destructive Testing. Sensors 2022, 22, 7654. <https://doi.org/10.3390/s22197654>
- [7] Avdelidis, N.P.; Tsourdos, A.; Lafiosca, P.; Plaster, R.; Plaster, A.; Droznika, M. Defects Recognition Algorithm Development from Visual UAV Inspections. Sensors 2022, 22, 4682.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Киричук Ю.В.*

## УДК 681.5

О. О. Некрасова, студентка гр. ПМ-21мп, к.т.н., доц. Нечай С. О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

# АВТОМАТИЗОВАНИЙ РЕАБІЛІТАЦІЙНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ НИЖНЬОЇ КІНЦІВКИ

**Анотація.** В даній статті приведено актуальність створення та використання автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки. Розглянуто основні проблеми профілактики та лікування плоскостопості. Проаналізовано ефективність та автоматизацію даної розробки. Запропоновано подальше удосконалення системи засобу за допомогою камер для більш точного визначення діагнозу.

**Ключові слова:** технічний засіб, реабілітація, плоскостопість, автоматизація, камера, система діагностики.

## ВСТУП

Тема технічних засобів реабілітації є дуже важливою та цікавою з багатьох причин. Зокрема, це стосується переважно якості життя людей, які мають обмеження у фізичних або когнітивних можливостях. Ці засоби допомагають пацієнтам відновлювати функції, які вони втратили через травми, хвороби або інші обставини. Технічні засоби допомагають пацієнтам з обмеженнями бути більш самостійними і впевненими в собі. Це сприяє їхній соціальній інтеграції і можливості вести активний спосіб життя.

Кожна людина індивідуальна, тому завдяки індивідуалізації технічні засоби в реабілітації дозволяють індивідуалізувати підхід до кожного пацієнта. Вони можуть бути налаштовані для конкретних потреб і можливостей кожної людини, що сприяє ефективнішому відновленню.

Використання технічних засобів може полегшити роботу лікарів і фахівців у сфері реабілітації, а також знизити ризик виникнення травм у процесі фізичної реабілітації.

## АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

У сучасному світі на даний момент в країнах світі понад 650 млн. людей, що складають від 10 % до 15 % населення, які є особами з обмеженими можливостями, їхня кількість у світі є значною та продовжує зростати. Зауважимо, що 80 % цих осіб проживають у країнах, які ще розвиваються.

Ця тема набуває неабиякої значущості у наші часи, коли почалось повномасштабне вторгнення російської федерації на територію України.

З перших днів волонтери та спеціальні організації займались екстремним реагуванням, допомагали зробити евакуацію у безпечні місця в тому числі і закордон. За даними спільного дослідження Fight For Right та Київського міжнародного інституту соціології, кожна десята людина в Україні має інвалідність (10.8 % всього населення) [1].

Під час обстрілів міст та сіл страждають цивільне (мирне) населення, що призводить до смерті або поранень (рис. 1). Через серйозність даних травм — українці можуть отримати статус особи з інвалідністю.



UKRAINE: CIVILIAN CASUALTIES AND NUMBERS OF SETTLEMENTS IN WHICH CIVILIAN CASUALTIES WERE RECORDED\*, PER REGION, from 24 February 2022 to 15 February 2023

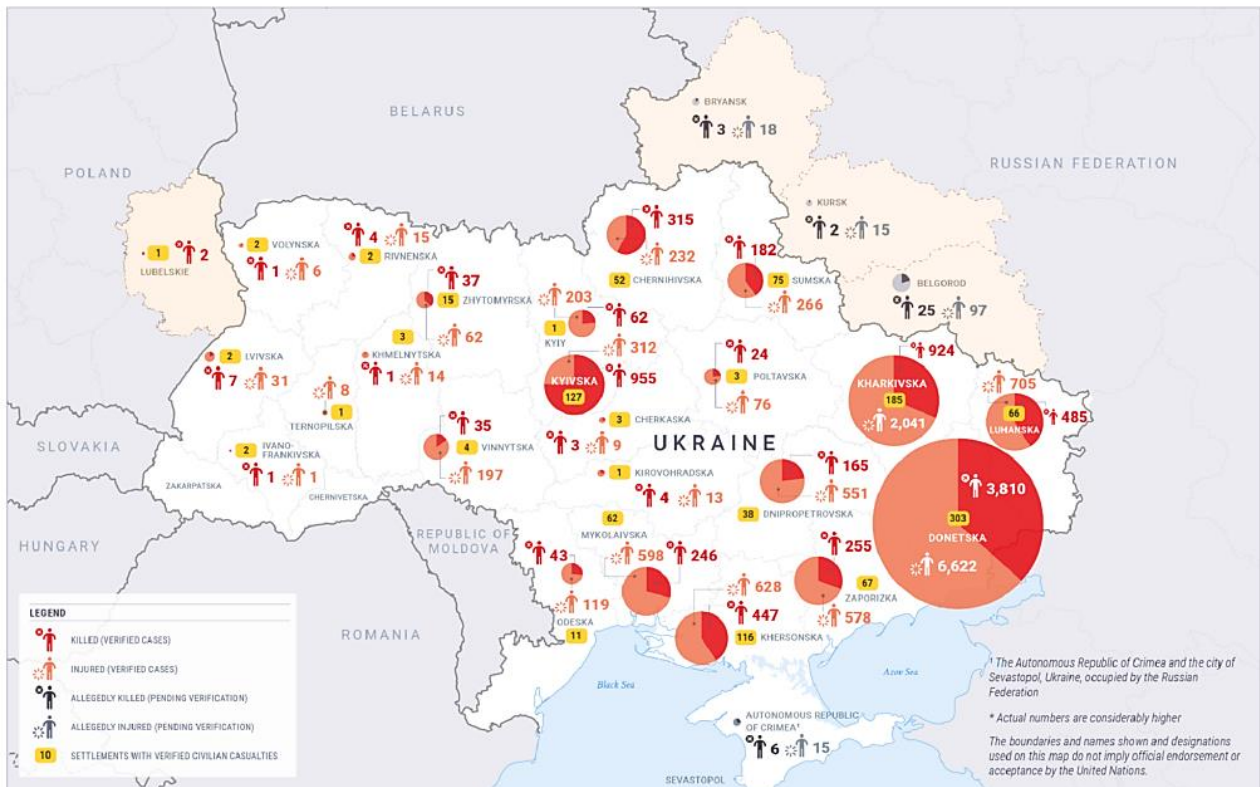


Рисунок 1. Україна: жертви серед цивільного населення та кількість населених пунктів, у яких зафіксовано жертви серед мирного населення, по регіонах [2]

Із моменту повномасштабного вторгнення біля 300 тис. людей оформили інвалідність [3]. З кожним днем відсоток людей, які отримали інвалідність, росте.

## ПРОФІЛАКТИКА ТА ЛІКУВАННЯ ПЛОСКОСТОПОСТІ

Стопа є фундаментом для тіла людини і виконує важливі функції, такі як ресорну (поглинання ударів), балансування (підтримання стійкості) і прощтовхування (рухання вперед). Порушення цього фундаменту може негативно впливати на формування організму підростаючої людини і призводити до порушень у виконанні цих основних функцій.

Корекція деформації стопи та попередження плоскостопості з використанням спеціальних технічних тренажерних пристроїв, які комбінують фізичні вправи, масаж підшви стопи та вібростимулювання, може бути ефективним підходом до поліпшення структури та функції стопи. Такий комплексний підхід допомагає зміцнити м'язи, покращити рухомість суглобів та підтримати скелетні структури стопи, сприяючи її здоров'ю.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРОБКИ ЗАСОБУ

Під час розробки автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки було покладені такі задачі, що засіб повинен, за допомогою обробки даних, давати можливість користувачеві самостійно коригувати положення ноги у взутті тим самим проводити самостійну ефективну реабілітацію правильної постави ноги. В даному випадку була потрібна візуалізація правильного положення ноги. Таким показовим екраном є смартфон, який зараз має

практично кожна людина. На смартфон будуть передаватись дані від засобу і це можна зробити через WI-FI або Bluetooth.

## **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАСОБУ У МАЙБУТНЬОМУ**

На даному етапі розробки система містить у собі такі елементи, як:

- два захисних шари для засобу «устілки»;
- плівка, яка слугує провідником — антеною;
- металеві пружні елементи з датчиками;
- основна електрична схема;
- плівка з акумулятором;
- смартфон.

Щоб система стала ще більш ефективною для реабілітації людини, можна додати ще 2 елемента у систему — камери. Їх присутність у системі дасть ще одну змогу переконатись у правильності або не правильності постави ноги у людини.

Якщо у пацієнта не правильна постава ноги, ми це побачимо по зображенню (рис. 2) навіть силуета з камер — результатом буде викривлення тіла у той чи інший бік, це і буде додаткова інформація для діагностики.

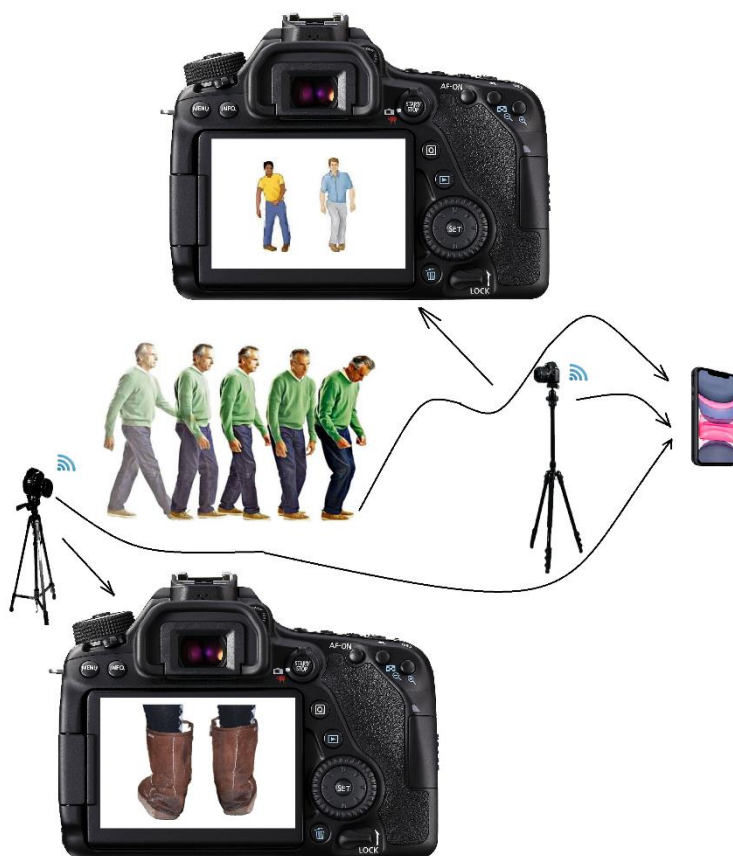


Рисунок 2. Схема вдосконаленої системи засобу

Діагностика буде відбуватись завдяки передаванню через WI-FI відео із камер, де зможемо побачити в цілому картину, як людина пройшла та окремо поставу ніг.

## **ВИСНОВОК**

Узагальнюючи, технічні засоби в реабілітації допомагають робити процес відновлення більш ефективним, доступним та цікавим для пацієнтів. Вони сприяють інноваціям у галузі медицини та технологій, роблять медичну допомогу більш індивідуалізованою та покращують якість життя тих, хто потребує реабілітації.

За допомогою автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки людина зможе виявити проблему із поставою та самостійно реабілітувати її, виправивши з часом положення ноги при ходьбі. Даний засіб гарно вплине на самопочуття пацієнта та безболісне, нетравмуюче пересування.

До того цей засіб може стати корисним для розробників нових моделей взуття, тестування зразків.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1]Звіт про підтримку людей з інвалідністю [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://ffr.org.ua/wp-content/uploads/2022/07/FFR\\_zvit.pdf](https://ffr.org.ua/wp-content/uploads/2022/07/FFR_zvit.pdf)
- [2]Інвалідність внаслідок війни [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mipl.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/montazhnaya-oblast-1-27-1024x682.png>
- [3]Замість інвалідності оцінюватимуть втрату функціональності. Що це значить і які наслідки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3770824-zamist-invalidnosti-ocinuvatimut-vtratu-funkcionalnosti-so-ce-znacit-i-aki-naslidki.html>

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Нечай С. О.*



УДК 004.896

А.А. Сакута, студентка гр. ПК-01, доц. Галаган Р. М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СЕРВІСНІ РОБОТИ ТА ЇХ РОЗВИТОК У СВІТІ

**Анотація.** Описано результати дослідження сфери використання сервісних роботів, їх популярність у світі, переваги та недоліки даних роботів, країни, що їх виготовляють та приклади найпопулярніших роботів.

**Ключові слова:** сервісні роботи, робот, робототехнічні системи, промислові роботи, технології, дрони

### ВСТУП

Робот є автоматичним пристроєм, призначеним для виконання деяких завдань замість людини або допоміжних (сервісних) функцій. Такі пристрої розробляються для автоматизації та полегшення завдань, що раніше вимагали присутності людської робочої сили [1].

Сервісні роботи зазвичай виконують різні завдання для полегшення життя людини у побуті. Важливо відзначити, що сервісні роботи відрізняється від роботів, що використовують у промислових сферах, де пріоритетом є автоматизація виробничих процесів [2].

Згідно з концепцією Міжнародної організації зі стандартизації, сервісний робот взагалі звільняє людину від виконання корисних завдань. Він діє автономно завдяки вбудованій системі керування, наділеній здатністю працювати як повністю, так і частково автономно. Такий підхід дозволяє збільшити рівень ефективності та зручності у використанні сервісних роботів у різноманітних сферах. Прикладом такою робота може слугувати всім відомий робот-пилотяг, що повністю звільнив людину від прибирання.

Робототехніка – інженерний напрямок, що тільки починає свій розвиток в Україні. Найчастіше даний напрямок в Україні можна зустріти у сфері навчання, проте дуже серйозних проектів, про які часто згадують, немає. Основна причина відсутності масштабного розвитку – нестача фінансування на введення та розробку роботизованої продукції.

Щодо розвитку та використання робототехніки закордоном, можна сказати, що лідерами у цій галузі є США, Китай, Німеччина, Японія та Південна Корея.

### СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ СЕРВІСНИХ РОБОТІВ У СВІТІ ТА НАЙПОПУЛЯРНІШІ ПРИКЛАДИ РОБОТІВ

Як було сказано вище, робототехніка включає в себе використання роботів та автоматизованих систем, що активно впроваджуються в різноманітні аспекти повсякденного життя, змінюючи промисловість, медицину, обслуговування, транспорт, освіту та інші сфери. Наприклад, використання роботів у виробництві, таких як роботи-маніпулятори та автономні робочі одиниці, значно полегшують та прискорюють виробничі процеси [3].

В медицині роботи використовуються для виконання хірургічних операцій з великою точністю та меншою інвазією, яких навіть найталановитіша людина-хірург досягнути не зможе. У сфері обслуговування використовують роботів-офіціантів та інші автоматизовані системи, які можна зустріти у ресторанах, готелях і магазинах. Технології автономної доставки застосовуються для

швидкої та ефективної розноски товарів. У побуті широко використовуються роботи-пилотяги для забезпечення чистоти приміщень [4].

Робототехніка активно впроваджується і в освіті для покращення навчання та розвитку учнів і студентів. Це включає в себе використання роботів у класах, навчання програмуванню та й просто розваги для дітей, сприяючи їхньому креативному та науковому розвитку.

У промислово розвинених країнах приділяють значну увагу робототехніці. Зокрема, дослідження та виробництво роботів є активним напрямком у США, де вкладають значні кошти у розробку роботів для різних галузей, включаючи медицину, автомобільну промисловість, сферу розваг, побуту тощо. Китай, як одна з найбільших світових економік, також зосереджує зусилля на виробництві широкого спектру роботів, включаючи як промислові, так і побутові моделі. Німеччина, Франція, Швейцарія та інші європейські країни активно працюють над виробництвом роботів для використання у різних галузях, сприяючи технологічному прогресу. В Південній Кореї велика увага приділяється розробці та виробництву різноманітних роботів, що охоплюють як побутові, так і промислові застосування. Країни, такі як Канада, Ізраїль, Австралія, Індія та інші, також активно впроваджують роботизовані технології у своїх галузях, враховуючи потреби сучасного ринку.

## **ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ СЕРВІСНИХ РОБОТІВ**

Як і все у світі, сервісі роботи мають свій ряд переваг та недоліків. Переваги та недоліки сервісних роботів можуть варіюватися залежно від конкретного застосування та характеристик робота. Щоб краще зрозуміти природу та користь даних технологій, розглянемо загальні аспекти.

Переваги використання сервісних роботів:

- мають високу гнучкість;
- можуть виконувати ефективний збір даних;
- полегшують життя людини, надаючи допомогу в побутовій сфері;
- мінімізують навантаження і робочий тиск людину;
- вносять більше ясності та стандартів у сферу послуг.

Недоліки використання сервісних роботів:

- скорочують людські робочі місця;
- потребують розробки дуже складних алгоритмів із використанням нейромережових технологій;
- поки що мають недосконале програмне забезпечення, із-за чого можуть виникати помилки в їх роботі;
- потребують регулярного оновлення та модернізації свого програмного та апаратного забезпечення;
- вартість експлуатації та обслуговування дуже висока.

Як можна бачити вище, ефективність та вигода від використання сервісних роботів залежать від їх конкретного застосування, різних обставин та пріоритетів [5].

## **ПРИКЛАДИ НАЙПОПУЛЯРНІШИХ РОБОТІВ**

Майже щорічно створюються десятки нових роботів, проте є такі, що знайшли максимальну популярність та успішність.

Прикладами таких роботів є робот Boston Dynamics Spot, що став відомим завдяки своїй вражаючій рухливості та здатності пристосовуватися до різних завдань. Він використовується в різних сферах, включаючи виробництво, будівництво та інспекцію. Спочатку Boston Dynamics була американською компанією, але в 2021 році компанію придбала корпорація Hyundai Motor Group з Південної Кореї [6].

Ще один приклад – Pepper, який став одним із найвідоміших сервісних роботів у галузі обслуговування клієнтів. Він призначений для взаємодії з людьми, відповіді на питання, розпізнавання емоцій, а також для навчання та розваг. Даний робот, розроблений японською компанією SoftBank Robotics [7].

Наступний не менш успішний приклад сервісного робота – TUG, що використовується у сфері медичної логістики для автоматизованої доставки різних матеріалів та медичного обладнання в лікарнях. Розробником є американська компанія Aethon, штаб-квартира якої розташована в штаті Пенсильванія, США [8].

Далі Relay – робот, який використовується у сфері готельного обслуговування для доставки різних речей, таких як їжа чи рушники, прямо до номеру гостя. Розробником є американська компанія Savioke, розташована в Каліфорнії, США [9].

І на останок варто сказати про компанію Starship Technologies (заснована естонськими підприємцями), яка використовує роботів для автономної доставки їжі та товарів в різних містах світу.

Отже, аналізуючи все вище зазначене, можна зробити висновок, що тематика сервісних роботів та й робототехніки загалом дуже перспективна. Можна відзначити, що наразі найбільшою проблемою у розвитку сервісних роботів є їх інтелектуалізація. Тому метою подальших досліджень є створення нейромережевого модуля для сервісного робота. Звичайно, сервісні роботи виконують різні завдання. Конкретним напрямком поточної роботи буде розробка сервісного робота, що зможе спілкуватись, розпізнавати емоції людей та розважати їх.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1]Робот — Вікіпедія (wikipedia.org). – Режим доступу: [www.URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82](http://www.URL:https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82)
- [2]Єдиний закон робототехніки: поліпшити добробут людини / BBC NEWS Україна - Режим доступу: [www. URL:https://www.bbc.com/ukrainian/features-40450278](http://www.URL:https://www.bbc.com/ukrainian/features-40450278)
- [3]Долиненко В.В., Шаповалов Є.В., Скуба Т.Г., Коляда В.О., Куц Ю.В., Галаган

Р.М., Карпінський В.В. Роботизована система неруйнівного вихрострумового контролю виробів зі складною геометрією. Автоматическая сварка. Київ. 2017. № 5-6 (764). С. 60-67.

- [4] What Are Service Robots And How They Benefit Mankind? | Robots.net - Режим доступу: [www.robots.net/tech-reviews/what-are-service-robots/#:~:text=Service%20robotics%20differs%20from%20industrial%20robots%20used%20to,humans%20by%20performing%20some%20useful%20tasks%20for%20them](http://www.robots.net/tech-reviews/what-are-service-robots/#:~:text=Service%20robotics%20differs%20from%20industrial%20robots%20used%20to,humans%20by%20performing%20some%20useful%20tasks%20for%20them).
- [5] Service Robots – GeeksforGeeks - Режим доступу: [www.geeksforgeeks.org/service-robots/](http://www.geeksforgeeks.org/service-robots/)
- [6] Spot - The Agile Mobile Robot / Boston Dynamics Spot - Режим доступу: [www.bostondynamics.com/products/spot/](http://www.bostondynamics.com/products/spot/)
- [7] SoftBank Robotics Pepper - United robotic group - Режим доступу: [www.aldebaran.com/en/pepper](http://www.aldebaran.com/en/pepper)
- [8] Aethon – TUG: One Platform, Multi-Purpose. – Режим доступу: [www.aethon.com/products/](http://www.aethon.com/products/)
- [9] Relay Delivers Results. – Режим доступу: [www.relayrobotics.com/](http://www.relayrobotics.com/)

УДК 681.5

*Б.В. Сень, студент гр. ПМ-21мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

**Анотація.** Розглянуто переваги та недоліки використання різних систем керування безпілотними літальними апаратами для реалізації поставлених цілей. Проаналізовано методи і алгоритми досліджень керування безпілотними літальними апаратами, визначено їх переваги. Запропоновано модель автоматизованого корегування руху, з метою підвищення точності виконання польоту.

**Ключові слова:** автоматизована система, система керування, БПЛА, машинне навчання, адаптивне керування, інтелектуальне керування.

### ВСТУП

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) представляє собою унікальний клас літальних засобів, що характеризується автономною роботою, самостійним забезпеченням енергією та можливістю автономного керування. Від моменту народження літака цей тип апарату вивчався та розвивався, втілюючи сучасні технології у своєму функціоналі. Сьогодні БПЛА виконує важливі функції в різноманітних галузях, включаючи аварійно-рятувальні операції, перевезення вантажів, повітряне спостереження, а також оборонних операціях.

Завдяки поєднанню передових технологій у сферах авіації, інформаційних технологій та інженерії, БПЛА стає ключовим гравцем у сучасному аерокосмічному виробництві. Його високий рівень автономії та гнучкість у використанні роблять його невід'ємною частиною різноманітних завдань, що вимагають ефективного та точного аеріального втручання.

У контексті початку повномасштабного вторгнення 2022 року в Україну, актуальність та значущість новітніх технологій керування безпілотними літальними апаратами набувають особливого значення. Розробка адаптивних алгоритмів управління, що забезпечують високу стійкість та точність, стає важливим напрямком досліджень у цій сфері. Ці інноваційні підходи до керування БПЛА мають потенціал змінити ландшафт авіаційної технології, роблячи автономні літальні апарати більш ефективними та універсальними у різних областях їх використання. У цьому контексті важливо розглядати та розвивати новітні технології керування як ключовий фактор в подальшому розвитку безпілотної авіації.

Окрім відмінностей у матеріалах, структурах, силових установках та аеродинамічному дизайні, єдиною фундаментальною особливістю, яка найбільше відрізняє БПЛА від інших літальних апаратів, є керування. БПЛА більшою мірою покладаються на автономні внутрішні компоненти та віддалені зв'язки з людьми, ніж інші системи. Користь, ефективність і прийнятність БПЛА залежатимуть від використання можливостей і визначення обмежень технологій управління[1].

Неможливість віддаленого вирішення проблем, які виникають у функціонуванні та технічному обслуговуванні автоматизованих систем (АС) потребує переходу від керованої до автономної поведінки БПЛА у разі впливу засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) на деякі компоненти автоматизованих

систем. До того ж, необхідно планувати поведінку БПЛА у разі неможливості повернення при критичному впливі.

## ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

У останні роки було розроблено значну кількість новаторських методів керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА). Серед них варто відзначити такі як  $H-\infty$  контролери,  $H_2$ -контролери,  $\mu$ - контролери, адаптивне керування, оптимальне керування, інтелектуальні методи контролю та робастні ПД-регулятори. Ці нові підходи до управління БПЛА відкривають широкі можливості для підвищення ефективності та точності керування, що є важливим напрямком для подальшого розвитку безпілотної авіації[1].

### Адаптивне керування

Традиційні системи керування та автопілоти БПЛА налаштовуються за допомогою ПД-регуляторів для налаштування параметрів керування відповідно до конкретних потреб платформи. Адаптація конфігурації системи керування до статичних умов експлуатації. Адаптивне управління в БПЛА дозволяє налаштувати контролер таким чином, щоб він автоматично адаптував параметри управління до мінливих умов польоту . Наприклад, під час польоту літака його маса повільно зменшується внаслідок витрати палива чи заряду акумулятора; щоб оптимізувати керування платформою, необхідне правильне керування, яке відповідає цій зміні в системі. Є два способи зробити це коригування, застосовуючи формулу перетворення, яка автоматично налаштовує контролер відповідно до певних змінних у системі, або шляхом інтеграції алгоритмів автоматичної ідентифікації макета, щоб система сама виконувала налаштування контролера відповідно до загального стану системи, керованої автопілотом. В таких системах може використовуватися адаптивна нейронна мережа управління польотом.

У роботі Xiaofei Chang, Kexuan Wang [1] запропоновано нечіткий контролер для системи керування БПЛА. З результатів моделювання та порівняння вони зробили висновок, що запропоноване керування здатне відстежувати бажану траєкторію з чудовою продуктивністю без порушення обмежень стану.

### Оптимальне керування

Алгоритм оптимального управління дозволяє керувати групою безпілотних літальних апаратів, надаючи можливість встановлення маневрів для цієї групи. Він також дозволяє визначати координати поточного положення безпілотно літального апарата відносно заданої траєкторії та визначати оптимальні моменти часу для виконання групових маневрів.

Цей алгоритм генерує оптимальне управління, враховуючи встановлений критерій якості, для переміщення мітки поточного положення до заданої точки в просторі. Крім того, він розраховує оптимальний момент часу та фазову координату для скоординованого руху групи безпілотних літальних апаратів. Цей метод дозволяє досягати високої точності та ефективності при керуванні маневрами безпілотних літальних апаратів. Один з таких алгоритмів наведений у статті О. І. Лисенко, О. М. Тачиніна, І. В. Алексєєва [2]. Синтезований алгоритм виробляє оптимальне за заданим критерієм якості керування переміщенням

позначки поточного положення в задане положення та розраховує оптимальний час і фазову координату групового роз'єднання БПЛА. Проведене дослідження показало, що отриманий алгоритм не накладає принципових обмежень на можливість його реалізації.

#### Інтелектуальне керування

Інтелектуальне керування належить до передового етапу розвитку теорії управління. Застосування інтелектуальних методів управління може вирішити проблеми управління деякими складними системами, які не можуть бути оброблені традиційними методами управління. На відміну від традиційного методу керування, який значною мірою покладається на точну математичну модель керованого об'єкта, інтелектуальний метод керування можна застосовувати для керування невизначеними об'єктами з невідомими моделями або параметрами моделі та структурними змінами. У той же час метод інтелектуального керування також має хороші переваги для керування системами з сильною нелінійністю та складними завданнями. З безперервним удосконаленням і розвитком теорії інтелектуального керування було успішно застосоване в багатьох галузях інженерії та стало однією з найпривабливіших і найцінніших технологій у галузі технології керування.

У статті Zishan Huang [3] було наведено систему інтелектуальне керування БПЛА на основі машинного зору та прийняття рішень. Ця робота поєднує технологію машинного бачення та мультиагентну технологію керування, для покращення руху. Дослідження показують, що інтелектуальна система на основі машинного зору може забезпечити підвищення надійності та ефективності керування БПЛА.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

На основі аналізу попередніх робіт, можна сформулювати концепцію універсальної системи контролю польоту, яка дозволить інтегрувати штучний інтелект. Для роботи системи БПЛА можна використати GPS-модуль для отримання інформації про географічні координати (широта, довгота, висота) та швидкість, інерційними сенсори, вбудовані в польотний контролер, комп'ютерний блок керування обробляє дані від GPS та інерційних сенсорів і визначає оптимальні керувальні команди для забезпечення потрібної траєкторії або завдання, автопілот виконує команди, що надходять від передавача, для автоматичного пілотування БПЛА, комунікаційна система забезпечуватиме зв'язок між БПЛА та земною станцією або оператором для передачі інформації, такої як статус, додаткові команди або поточні дані з місії, система виправлення траєкторії в залежності від завдань, може бути включена система для корегування траєкторії або виправлення положення за допомогою сенсорів, вбудованих в польотний контролер. Алгоритмами навігації та керування можуть виступати вище запропоновані алгоритми для обробки даних від GPS, польотного контролера для прийняття рішень щодо керування БПЛА.

Ця система дозволяє БПЛА автономно навігуватися за заданою траєкторією або виконувати конкретні завдання, використовуючи дані як один із ключових джерел інформації для навігації та керування.

## **ВИСНОВКИ**

Існуючі системи демонструють ефективні результати в обмеженому діапазоні змін збурень та характеристик системи. Однак, існує цілий ряд вирішуваних проблем, включаючи той факт, що ці системи не можуть гарантувати необхідну точність в умовах значних збурень із невідомими параметрами. Саме тому виникає необхідність в комбінованому використанні методів адаптивного, робастного та інтелектуального керування.

В подальшому потрібно використовувати структура системи керування, з внесенням змін у метод формування адаптивного коефіцієнта  $K$  та використанням методу інтелектуального керування. Зокрема, використовуються нейронні мережі із онлайн навчанням для прогнозування стану системи та розв'язання задачі утримання системою заданих параметрів із гарантованою точністю в умовах невизначених зовнішніх збурень.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Washington, DC: The National Academies Press [Електронний ресурс] // National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Uninhabited Air Vehicles: Enabling Science for Military Systems, 2000. Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.17226/9878>.
- [2] О. І. Лисенко, О. М. Тачиніна, І. В. Алексеева. Алгоритм оптимального керування групою безпілотних літальних апаратів: матеріали доповіді «Електроніка та системи керування». НТУУ «КПІ», 2018р. - С.114-119.
- [3] Xiaofei Chang, Kexuan Wang, Kang Chen, Wenxing Fu, "Full-State-Constrained Adaptive Control for a Class of UAVs Suffering from Coupled Uncertainties Using the HOBLF", Mathematical Problems in Engineering, vol. 2021, Article ID 9963426, С. 17, 2021 р. [0]

*Наук. керівник – доцент Гришанова І.А.*



**УДК 658.012**

*Є.В. Скорик , студент гр. ПГ-31мп, к.т.н., доц. Півторак Д.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОДИ**

**Анотація.** Якість води важлива для забезпечення здоров'я людей, уникнення захворювань, підтримки життєвих функцій організму та якості життя. Автоматизована система контролю якості води може бути корисною для визначення її чистоти в регіонах з погіршеною водою після небезпечних подій та важлива для здоров'я людей і тварин, моніторячи рівень шкідливих речовин. У цій статті представлена автоматизована система контролю якістю води, яка поєднує датчики кислотності, температури та каламутності, а також виконано порівняння результатів датчиків із приладами вимірювання.

**Ключові слова:** автоматизована система контролю якості води, датчик кислотності, датчик каламутності, датчик температури.

### **ВСТУП**

Як відомо, стан організму людини залежить від повітря, способу життя, якості продуктів харчування, а також питної води. Тому щоб слідкувати за її якістю можна використовувати автоматизовану систему контролю якості води. Зокрема система може бути корисна мешканцям Херсонської та Миколаївської областей, адже після підриву ГЕС якість води в цих регіонах погіршилась. Крім того за допомогою даної системи можна слідкувати за якістю води в басейні або акваріумі, адже довге перебування у неякісній воді може пагубно впливати на організм людини або тварини що, в ній перебувають. Забруднена вода та погані санітарні умови пов'язані з передачею таких захворювань, як холера, діарея, дизентерія, гепатит А, черевний тиф та поліомієліт.

Природна присутність хімічних речовин, також може мати значення для здоров'я. Такі речовини, як: миш'як, фторид, свинець є шкідливими для організму. Миш'як і фторид можуть потрапляти через ґрунт, а свинець — внаслідок контакту з застарілими компонентами водопостачання.

Крім того, в наш час спостерігають, що автоматизовану систему контролю якості води застосовують у все більшій кількості сфер життя. Наприклад, в харчовій або косметологічній промисловостях, адже якість води напряму впливає на якість товару, який вони виробляють.

Таким чином, актуальною задачею являється створення доступної автоматизованої системи для контролю води.

### **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОДИ**

Система контролю якості води включає в себе центральний мікропроцесор та периферійні вимірювальні прилади, які вимірюють наступні параметри: температуру води; кислотність та каламутність.

В системі використовується датчик PH0-14 probe, зображений на рис. 1 [1], так як він задовольняє потребу в підключенні до плати Arduino Nano. Він дає можливість стежити за кислотністю нашої води.

Також в системі використовується датчик DS18B20 зображений на рис.2[2] тому, що він має оптимальний діапазон вимірювання серед датчиків такого типу, доступну ціну та є герметичним. Герметичність є дуже важливою характеристикою для розроблення макету автоматизованої системи контролю

якості води, так як вимірювання температури будуть проводитися саме у водному середовищі. Датчик дає нам змогу відстежувати температуру води в реальному часі.

Для розроблення макету було обрано датчик TS-300B, який зображений на рис. 3 [3] через зручність підключення його до плати Arduino Nano. Також головною перевагою даного датчика є його ціна. Датчик каламутності дає змогу відстежувати каламутність води на відстанні, якщо не має змоги переглянути її стан наглядно.

Оскільки датчики передають аналогові сигнали, то роль мікропроцесора буде виконувати Arduino Nano, також він відповідає за передачу даних на комп'ютер.

На рис.4 зображена схема підключення датчиків до плати Arduino Nano.



Рисунок 1. Зовнішній вигляд датчика кислотності PH0-14 probe[1]



Рисунок 2. Зовнішній вигляд датчика температури DS18B20[2]



Рисунок 3. Зовнішній вигляд датчика каламутності TS-300B[3]

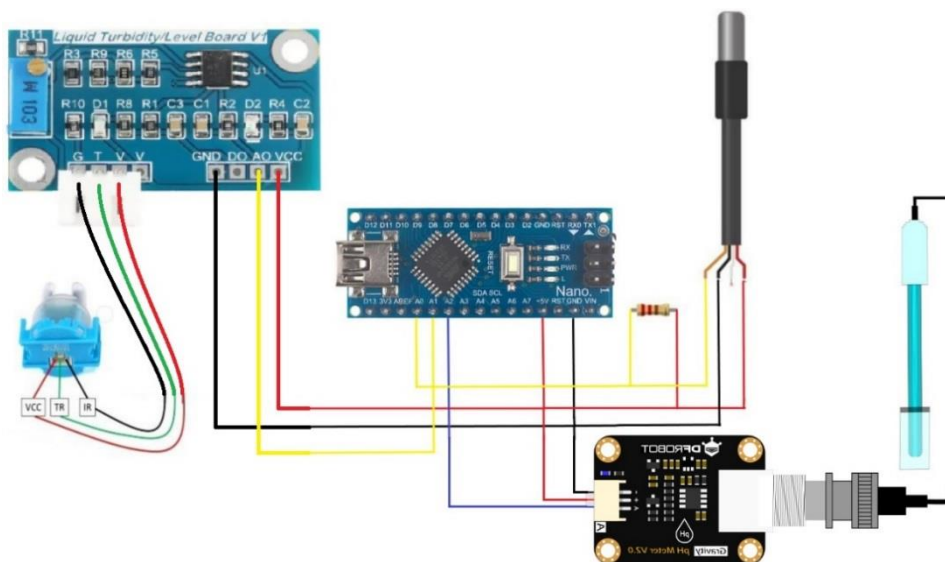


Рисунок 4. Схема підключення датчиків до плати Arduino Nano

## ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СИСТЕМИ

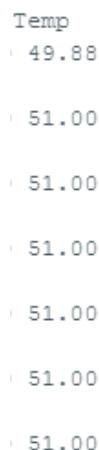
Експериментальним шляхом було перевірена працездатність системи.

Для перевірки коректності роботи датчику температури було використано гарячу воду. У воду було занурено датчик температури, отримані результати наведені на рис. 5,б та порівняні з показниками спиртового термометра точність

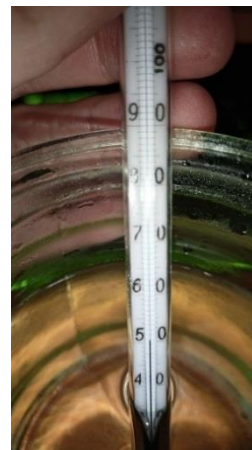
якого  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  (рис.5, в).



а)



б)



в)

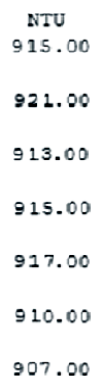
Рисунок 5. Показання датчиків занурених в гарячу воду: а) датчик системи занурений у гарячу воду; б) результат вимірювання температури; в) термометр

Проведені дослідження показують схожі результати, оскільки показники, отримані від датчика, узгоджуються з показниками на рис.5, в, можна зробити висновок, що пристрій працює належним чином.

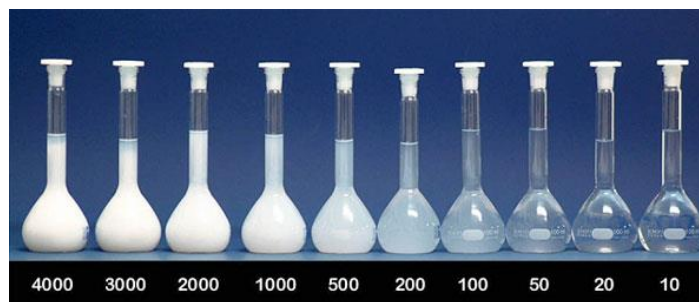
В ході калібрування датчику, опирались на метод описаний у роботі [4]. Для перевірки каламутності були проведені експериментальні дослідження зі занурюванням датчика каламутності у воду, яку попередньо змішали з землею (рис.6). Отримані результати порівняли зі значеннями, які наведені на рис.6,в [5].



а)



б)



в)

Рисунок 6. Демонстрація зняття показників з датчика каламутності, зануреного у воду змішану з землею: а) датчик занурений у воду змішану з землею; б) результат вимірювання каламутності, в) Деякі значення NTU [4]

Дивлячись на отримані результати, можна помітити наступне: оскільки показники, отримані з датчика, збігаються з показниками, наведеними на рис.6, в, можна зробити висновок, що пристрій працює справно.

Для перевірки датчика кислотності його було занурено в стакан, наповнений оцетом та знято показники, які наведені на рис. 7,а, б. Отримані результати порівняли зі значеннями, які наведені в стандарті ASTM D6420 (2,4-3,4 pH) [6].



а)

pH  
3.00  
3.00  
3.00  
3.00  
3.00  
3.00  
3.00

б)

Рисунок 7. Демонстрація зняття показника кислотності датчиків занурених в оцет: а) датчик занурені у оцет; б) результат вимірювання кислотності, в) значення рН

Проведені дослідження показують схожі результати, а саме: оскільки показники, отримані з датчика, збігаються з показниками, наведеними на рис.7, в, можна зробити висновок, що пристрій працює справно.

## ВИСНОВОК

В даній роботі запропоновано створити автоматизовану систему контролю якості води на основі датчиків температури, кислотності та каламутності. Так як датчики передають аналогові данні, то у якості центрального мікропроцесору було використано Arduino Nano. Проведені виміри за допомогою датчиків та приладів для вимірювання показали схожі результати, що свідчить про правильність роботи даної системи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Аналоговий датчик РН для Arduino [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod3543-ph-sensor-for-arduino>
- [2] Водонепроникний датчик температури DS18B20 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://gsm-komplekt.ua/product/64091/?gclid=CjwKCAiApaarBhB7EiwAYiMwqsmSYbBAY4at2qGiY0J2fv00Vj1ZF-tpMFzFifP2dKGYHi55RZZNxoC8L8QAvD\\_BwE](https://gsm-komplekt.ua/product/64091/?gclid=CjwKCAiApaarBhB7EiwAYiMwqsmSYbBAY4at2qGiY0J2fv00Vj1ZF-tpMFzFifP2dKGYHi55RZZNxoC8L8QAvD_BwE)
- [3] TS-300B Sensor [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kosmodrom.ua/datchik-potoku-ridini/ts-300b-sensor.html>
- [4] How to interface turbidity module with arduino | complete tutorial | DIY Turbidity meter [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=BYzRiIUvX6I&ab\\_channel=EDISONSCIENCECORNER](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=BYzRiIUvX6I&ab_channel=EDISONSCIENCECORNER)
- [5] Turbidity Standards – Quick Reference Guide [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://camblab.info/turbidity-standards-quick-reference-guide/>
- [6] ASTM D6420-18 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.astm.org/d6420-18.html>

*Науковий керівник - к.т.н., доц. Півторак Д.О.*

## **Секція 5.**

# **Ефективні інженерні рішення у інформаційно- вимірювальних технологіях. Технології аналітичного та екологічного приладобудування**

## УДК 681.5

*В.В. Андрєєв, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., доц. Маркіна О.М.,  
к.т.н., доц. Маркін М.О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

# ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА НАВІГАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ В ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ЗБОРУ ДАНИХ НА ЗАКРИТИХ ВОДОЙМАХ

*Анотація.* У статті розглядаються новітні технології інтелектуальної навігації та контролю в інформаційно-вимірювальних системах збору даних у закритих водоймах. Враховано ефективність навігаційних алгоритмів, інтеграцію сучасних систем контролю та моніторингу, оптимізацію збору даних у важкодоступних місцях.

**Ключові слова:** інтелектуальна навігація, управління водоймами, інформаційно-вимірювальні системи, збір даних, системи керування, моніторинг, оптимізація.

## ВСТУП

Забезпечення точного та ефективного збору даних у закритих водоймах є критичним питанням для наукових досліджень, екологічного моніторингу та управління водними ресурсами.

У зв'язку з цим використання інтелектуальної навігації та управління в інформаційно-вимірювальних системах (ІВС) є перспективним напрямком для досягнення високої точності та ефективності збору цінних даних. Використання цих технологій є прогресом у порівнянні з традиційними методами, особливо у важкодоступних місцях. У цьому контексті ми розглянемо деякі ключові моменти, які виправдовують використання інтелектуальної навігації та контролю для оптимізації та покращення роботи ІВС.

## МЕТА РОБОТИ

Метою цієї статті є аналіз інтеграції навігаційних алгоритмів і передових систем контролю та моніторингу з метою визначення найкращих стратегій для забезпечення точності та стабільності керування гідротехнічними об'єктами.

## МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Технологія інтелектуальної навігації відкриває нові можливості для визначення точного місцезнаходження досліджуваних об'єктів у реальному часі. Це особливо вірно у важкодоступних районах, де традиційні методи, такі як GPS, можуть бути обмежені фізичними або технологічними перешкодами. Адаптивні алгоритми навігації дозволяють адаптуватися до змін навколишнього середовища, уникати перешкод і планувати оптимальні маршрути для найбільш ефективного збору даних.

Алгоритми штучного інтелекту, інтегровані в такі системи, можуть аналізувати дані в реальному часі та допомагають автоматизувати процес збору. Це робить систему гнучкою та здатною ефективно реагувати на зміни в навколишньому середовищі, спрощуючи взаємодію та забезпечуючи ефективність дослідницького процесу.

Оптимізація використання ресурсів, особливо енергії, також має бути одним із головних пріоритетів для інтелектуальної навігації. Розроблений алгоритм має бути спрямований на мінімізацію енергетичних витрат. Це важливий аспект для

забезпечення тривалої роботи системи в ситуаціях, коли джерела енергії обмежені.

Розробка інтелектуальних навігаційних систем базується на високому ступені автономності та здатності працювати в різних умовах. Це забезпечує високу стабільність і надійність роботи. Це важливо при використанні в складних умовах, коли традиційні методи можуть бути неефективними.

Ці методи використовуються в екологічних дослідженнях і допомагають вивчати та контролювати водні екосистеми, а також виявляти зміни навколишнього середовища та реагувати на них. В аквакультурі автоматичні системи контролюють стан води та положення риби, щоб забезпечити оптимальний ріст.

Гідрографічні дослідження досягли значного прогресу в точності ґрунтового картографування та аналізу гідродинаміки водойм. У водному транспорті розробляються автономні судна, які використовують інтелектуальну навігацію для оптимізації безпечних і ефективних транспортних маршрутів.

Таким чином, інтелектуальна навігація є важливим інструментом, який забезпечує точний і ефективний збір даних у закритих водах і робить використання IMS більш стійким, ефективним і відповідальним.

Інтеграція сучасних систем контролю та моніторингу та систем збору даних є не менш важливою частиною комплексного підходу до оптимізації процесів, що забезпечується використанням передових технологій. Сучасні системи управління дозволяють управляти об'єктами дослідження дистанційно і автоматично. Це можна зробити за допомогою методів дистанційного керування, автопілота або штучного інтелекту для прийняття рішень. Такі системи дозволяють плавучим платформам і дослідницьким безпілотникам ефективно виконувати запрограмовані завдання, забезпечуючи ефективність і точність збору даних.

Наприклад, автопілот можна використовувати в системі управління для автоматичного коригування траєкторії на основі навігаційних даних або змін у навколишньому середовищі. Це дозволяє найбільш ефективно використовувати ваш час і ресурси під час дослідження.

Системи моніторингу надають реальні або наближені до реальних дані про стан водного середовища та об'єктів дослідження. Це може включати дані про продуктивність датчиків, датчиків та інших пристроїв, що використовуються для вимірювання якості води та параметрів навколишнього середовища.

Інтеграція цих систем спрощує моніторинг і реагування на зміни об'єктів моніторингу та забезпечує автоматичне звітування про їх стан. Це також дозволяє швидко реагувати на несподівані події та швидко коригувати параметри дослідження.

Така інтеграція відкриває можливість дослідження важкодоступних водних об'єктів і надає науковцям інструменти для більш ефективного та точного керування об'єктами дослідження. Це покращує якість і надійність зібраних даних. Це важливо для наукових досліджень та екологічного моніторингу водних ресурсів.

## ВИСНОВКИ

Тому інтелектуальні системи навігації та контролю є ключовими елементами ефективності та надійності дослідницьких процесів у закритих водах. Впровадження передових навігаційних алгоритмів, інтеграція з системами відеоспостереження та використання сучасних аналітичних засобів формують комплексний підхід до оптимізації збору та обробки інформації.

Ключові елементи враховують різні умови води, що дозволяє ефективно керувати досліджуваними об'єктами, забезпечуючи точний рух, уникаючи потенційних перешкод і визначаючи оптимальні маршрути для збору даних. Це адаптивний алгоритм.

Інтеграція системи управління і платформи моніторингу дає можливість отримувати інформацію про стан об'єкта перевірки в режимі реального часу. Це дозволяє швидко приймати рішення та адаптуватися до нових умов. Це важливо в складних природних умовах.

Оптимізація енергетичної системи та використання технологій штучного інтелекту можуть допомогти підвищити автономність системи та ефективно використовувати зібрані дані. Сприяє довгостроковій стабільній роботі у важкодоступних місцях.

Оптимізація збору даних про закриту воду важлива як для наукових досліджень, так і для екологічного моніторингу, забезпечення сталого використання водних ресурсів. Інтегрований підхід, що включає інтелектуальну навігацію, системи управління та моніторингу, забезпечує високу якість і надійність отриманих даних і є важливим інструментом для розуміння та управління водними екосистемами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Гуриненко, С. О. (2021). Організація систем керування сучасних безпілотних підводних апаратів.
- [2] Трухова, А. С. (2021). Маршрутизація дрону на пересіченій місцевості з використанням методів машинного навчання.
- [3] Іванюк, О. І. (2021). Розробка та дослідження моделі інтелектуального управління автономними об'єктами.
- [4] Бень, А. П., & Паламарчук, І. В. (2016). Особливості побудови сучасних високоточних інтелектуальних систем управління рухом морських суден. Науковий вісник Херсонської державної морської академії, (1), 4-10.
- [5] Волков, О. Є., Комар, М. М., Волошенюк, Д. О., & Господарчук, О. Ю. (2018). Інтелектуальна інформаційна технологія автономної навігації безпілотного літального апарату (Doctoral dissertation, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут").
- [6] Радзівілов, Г. Д., & Фесенко, О. Д. (2019). Аналіз способів реалізації автономних систем навігації БПЛА. Збірник наукових праць [Військового інституту телекомунікацій та інформатизації], (1), 75-81.
- [7] Шевчук, Д. О., Мандрик, В. А., Гаєнко, І. Д., & Гармаш, Т. О. (2019). Синтез інтелектуальної системи керування бпла на основі нечіткої логіки в умовах дії зовнішніх збурень. ВВК 73, 135.



## УДК 681.5

*В.В. Андреев, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., доц. Маркіна О.М., к.т.н., доц.  
Маркін М.О.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ІОТ ДЛЯ ЗБОРУ ДАНИХ НА ЗАКРИТИХ ВОДОЙМАХ

**Анотація.** Ця стаття розглядає важливість використання Інтернету речей (ІоТ) та автоматизації для збору та обробки даних на закритих водоймах. Зазначаючи переваги цих технологій, таких як точність моніторингу, реальний час аналізу та штучний інтелект для прогнозування, стаття надає огляд методів управління водними ресурсами. Розглядаються використання сенсорів, систем автоматизації та мереж ІоТ для оптимізації використання води, забезпечуючи стійке та стале водокористування.

**Ключові слова:** Інтернет речей (ІоТ), автоматизація, водні ресурси, моніторинг, управління водними ресурсами.

## ВСТУП

У сучасному світі, де екологічні питання та раціональне використання природних ресурсів набули важливого значення, ефективне управління водними ресурсами стає все більш важливим. Зокрема, закритим резервуарам, які використовуються на промислових, сільськогосподарських і комерційних об'єктах, приділяють особливу увагу в можливості їх ефективного моніторингу та управління.

## МЕТА РОБОТИ

Мета цієї статті — розглянути потенціал використання автоматизації та технології Інтернету речей (ІоТ) для збору даних про закриті водні об'єкти та їх вплив на ефективне управління їх ресурсами. Планується вивчити різні аспекти застосування цих технологій, починаючи від автоматизованих систем моніторингу і закінчуючи використанням аналітики та штучного інтелекту для прийняття стратегічних рішень.

## МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Автоматизація процесів контролю води є важливим кроком до ефективного та сталого використання водних ресурсів. Сучасні технології дозволяють контролювати якість води, рівень запасів та інші параметри, допомагаючи мінімізувати вплив людського фактору та підвищити рівень автоматизації.

Автоматизовані системи моніторингу забезпечують постійний моніторинг стану резервуарів, що також сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Датчики, розміщені в стратегічних точках, вимірюватимуть ключові параметри, такі як температура води, концентрація кисню та розчинених речовин. Зібрані дані передаються в центральну систему, де їх можна аналізувати.

Такі системи дозволяють регулювати параметри безпеки водойм. Коли датчик виявляє аномалії, такі як забруднення води або різкі зміни температури, система негайно сповіщає операторів. Це дозволяє відносно швидко реагувати на можливі проблеми та вживати необхідних заходів для їх вирішення. Це також допомагає оптимізувати фільтрацію та розподіл води. Завдяки алгоритмам та штучному інтелекту можна налаштувати роботу систем фільтрації та розподілу

відповідно до поточних потреб. Також ці системи можуть контролювати рівень води, автоматично регулювати системи поливу чи відкачування води, що сприяє підтриманню екологічної стійкості та призводить до більш ефективного використання водних ресурсів і зниження споживання енергії.

Загалом, введення автоматизації у процеси контролю та регулювання водних ресурсів відкриває багато перспектив для розвитку сталого управління водними системами та забезпечення екологічної стійкості. Сучасні технології виявляються не лише як засіб для ефективного використання водних ресурсів, але й як ключовий інструмент для довгострокової охорони та раціонального використання цих важливих екосистем.

У контексті збору та обробки даних використання програм Інтернету речей для збору та обробки даних відкриває нові можливості для управління водними ресурсами та розширює горизонти в цій області.

Один із ключових компонентів використання IoT у закритих водоймах - це мережа сенсорів та датчиків, як було зазначено раніше, розташованих на всьому периметрі водойми. Така система надає можливість постійного відстеження водних ресурсів в режимі реального часу, що дозволяє операторам отримувати інформацію про стан об'єктів якнайшвидше та негайно реагувати на будь-які зміни та проблеми. Це забезпечує швидке виявлення відхилень від норми та своєчасне вжиття необхідних заходів.

Крім того, використання IoT дозволяє впроваджувати інструменти аналітики та прогнозування на основі зібраних даних. Алгоритми штучного інтелекту можуть виявляти закономірності та тенденції, що полегшує прогнозування змін у водних ресурсах. Це дозволяє розробляти стратегії оптимального використання ресурсів і запобігати можливим проблемам. Велика кількість інформації, отримана з таких систем, допомагає приймати більш обґрунтовані рішення щодо збереження природних екосистем та запобігання забрудненню водних об'єктів.

Завдяки використанню технології IoT, можна реалізувати оптимізацію використання води, враховуючи різноманітні фактори, такі як погодні умови, сезонні зміни та індивідуальні потреби споживачів води. Цей підхід сприяє більш раціональному та ефективному використанню водних ресурсів, що призводить до зниження загальних витрат та сприяє сталому управлінню водними системами.

Також технологія IoT відзначається високою гнучкістю та здатністю легко інтегруватися в існуючі системи управління водними ресурсами. Це сприяє взаємодії та сумісності з вже наявними інфраструктурними рішеннями. Таким чином, інтеграція IoT у системи управління водними ресурсами не лише полегшує впровадження нових рішень, але й сприяє оптимізації та покращенню ефективності всієї інфраструктури.

## **ВИСНОВКИ**

Отже, в умовах сучасних проблем, пов'язаних з ефективним управлінням водними ресурсами, використання новітніх технологій автоматизації та Інтернету речей є не лише актуальним, а й ключовим фактором, запорукою

сталого розвитку. Наше дослідження виявило значний потенціал цих технологій у секторі управління закритими водоймами, включаючи промислові, сільськогосподарські та комерційні об'єкти.

Автоматизація процесів управління водними ресурсами виявляється ключовою для точного вимірювання параметрів води та оперативного реагування на можливі проблеми. Це не лише забезпечує надійне відслідковування різноманітних характеристик водного середовища, але й дозволяє швидко реагувати на виникнення небезпеки чи відхилення від стандартів. Застосування автоматизації допомагає мінімізувати вплив людського фактору, роблячи процеси управління водними ресурсами більш точними та ефективними.

Використання ж IoT для збору та обробки даних у реальному часі вводить новий рівень моніторингу водних ресурсів. Система сенсорів та датчиків, розташованих на водних об'єктах, надає миттєвий доступ до різноманітних показників, що дозволяє операторам системи швидко реагувати на зміни у водних середовищах, забезпечуючи стаке та оптимальне використання водних ресурсів. Такий підхід допомагає забезпечити не лише ефективну експлуатацію, але і високий рівень екологічної стійкості в управлінні водними ресурсами.

Ці технології допомагають як оптимізувати використання водних ресурсів, так і зменшити витрати та сприяють збереженню природних екосистем. Оптимізація витрат, виявлення витоків і реагування на кризу стають ефективними інструментами для забезпечення сталого використання води.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1]Серебрянський, Д. В., & Кравчинський, Р. Л. (2012). Автоматизація систем збору та аналізу даних за станом водних об'єктів України: сучасний стан і перспективи. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, (1), 28-33.
- [2]Мокін, В. Б., & Крижановський, Є. М. (2012). Автоматизація моніторингу поверхневих вод басейну річки Дністер з використанням ГІС-технологій. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, (1), 30-34.
- [3]Волошин, В. І., & Красовський, Г. Я. (2012). ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ Р. ДНІПРО Мокін ВБ, д-р техн. наук, проф., радник Голови Держводагентства, Вінницький національний технічний університет.
- [4]Критська, Я. О., Скарга-Бандурова, І. С., & Топчій, А. О. (2018). Методи і моделі збору та обробки даних в системах моніторингу водних об'єктів заснованих на ІОТ. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*, (6), 205-209.
- [5]Котелянець, В. В. (2019). *Інформаційна технологія моніторингу навколишнього середовища на базі концепції Інтернету речей* (Doctoral dissertation).

УДК 621.325; 621.335

*І.С. Богдан, П.В. Гавриленко, студенти гр. ПІ-12*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КУСКОВО ЛІНІЙНА ТА НЕЧІТКА МОДЕЛІ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

**Анотація:** У роботі проведено порівняльний аналіз кусково лінійної та нечіткої моделей оцінювання індексу якості повітря AQI. Кусково лінійна форма коефіцієнту якості повітря прийнята агенцією EPA (USA) в якості основи для розрахунку AQI. Відповідно до цієї моделі коефіцієнт якості повітря AQI визначають за концентрацією твердих часток типу PM2.5 в повітрі. Нечітка модель, яка запропонована авторами, побудована на алгоритмі Мамдані і враховує два чинники забруднення: тверді частки типу PM2.5 та PM10. Особливістю нечіткої моделі є відсутність розривів другого роду на поверхні рішень, що надає однозначні оцінки в точках, які розташовані на границях відрізків. Нечітка модель має два входи, що підвищує достовірність оцінювання. І офіційний і нечіткий методи оцінювання якості повітря в основі мають величину запилення.

**Ключові слова:** нечітка модель, AQI, коефіцієнт якості повітря, алгоритми Мамдані

### ВСТУП

Якість нашого життя напряму залежить від якості повітря, оскільки його вплив безпосередньо визначає тривалість життя людини. Розвиток промисловості і значна урбанізація призвела до значного погіршення якості повітря за рахунок викидів у атмосферу шкідливих речовин. Тому постало питання з оцінки якості повітря та його впливу на здоров'я людини.

На сьогоднішній день, не існує універсального методу для оцінки якості атмосферного повітря, який би використовувався у всіх країнах світу. Найпоширенішим методом визначення якості повітря (AQI) є метод від агенції EPA (USA). Цей індекс має два алгоритми розрахунку: перший враховує концентрацію твердих часток з характерним розміром до 2,5 мікрон (PM2.5), а другий використовує найгірший із шести показників, що включають концентрації твердих часток PM2.5 і PM10, діоксиду сірки, діоксиду азоту, чадного газу (оксид вуглецю CO) та озону[1]. Залежність коефіцієнту AQI для обох варіантів є кусково лінійною, тобто має розриви другого роду. В той же час, в якості альтернативного методу визначення коефіцієнту якості повітря може бути застосована нечітка модель із усюди випуклою поверхнею рішень без розривів.

### МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є проведення порівняльного аналізу кусково лінійної та нечіткої моделей коефіцієнту якості повітря.

### МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метод кусково-лінійної апроксимації заснований на заміні характеристики нелінійного елемента відрізками прямих. В результаті чого відбувається перехід від нелінійного диференціального рівняння до кількох лінійних, які відрізняються один від одного значенням коефіцієнтів. Кожне з лінійних рівнянь справедливо для того часового інтервалу, протягом якого робоча точка переміщається по відповідній лінійній ділянці. Точність такого виду апроксимації є невисокою, її похибка має порядок  $O(h)$  де  $h = \max_{i=1, n-1} |x_{i+1} - x_i|$ , де  $[x_i, x_{i+1}]$  межі окремого проміжку для якого застосовують лінійну апроксимацію.

Алгоритми нечіткої логіки дозволяють створити ефективну модель для всебічної оцінки якості повітря за будь-якого набору вхідних каналів. У таких моделях вихідна функція не має розривів другого роду. Технологія створення експертних систем на основі нечіткої логіки вже успішно випробувана на розроблених моделях для завдань екологічного моніторингу та кількісної оцінки загальних викидів у атмосферу. Для математичного інструментарію нечіткого моделювання зазвичай використовується модуль Fuzzy Logic Tool Box у пакеті MATLAB[2]. Одним з найпоширеніших забруднювачів атмосфери є пил. За дисперсності розрізняють такі розмірні фракції мікроскопічних частинок:  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_1$ . Найбільш небезпечним для людини вважається пил фракції  $PM_{2,5}$ . В Україні концентрація таких частинок в повітрі визначається за добу.

Визначимо коефіцієнт якості повітря методами кусково-лінійної апроксимації та нечіткої моделі. Вихідні дані для дослідження були отримані від станцій екологічного моніторингу в місті Києві на ресурсі [3](Рис.1).

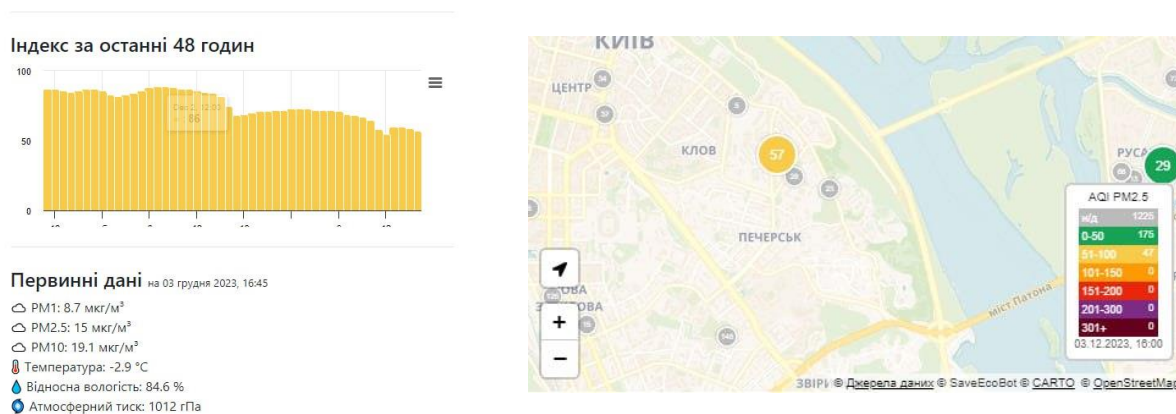


Рис.1. Результати екологічного моніторингу м. Київ

Для розрахунку коефіцієнту запилення були обрані концентрації частинок пилу  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  за період 48 год Рис. 2.

В таблиці 1 представлені концентрації  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  за період часу 24 години. Вимірювання проводились 00.00 год, 6.00 год, 12.00 год та 18.00 год.

Таблиця 1. Концентрація часток  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  та якість повітря

	00.00	6.00	12.00	18.00
$PM_{2,5}$ , мкг/м <sup>3</sup>	28,73	32,39	28,47	19,19
$PM_{10}$ , мкг/м <sup>3</sup>	40,89	47,11	40,76	25,12
AQI (кусково лінійна модель)	86	94	85	65
Запиленість (нечітка модель)	32,4	36,4	32,2	28,6

В таблиці 1 наведені також результати розрахунку індексу якості повітря AQI на основі даних про концентрацію твердих часток  $PM_{2,5}$ , а також результати нечіткого моделювання запиленості повітря за даними про концентрацію у повітрі часток  $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$

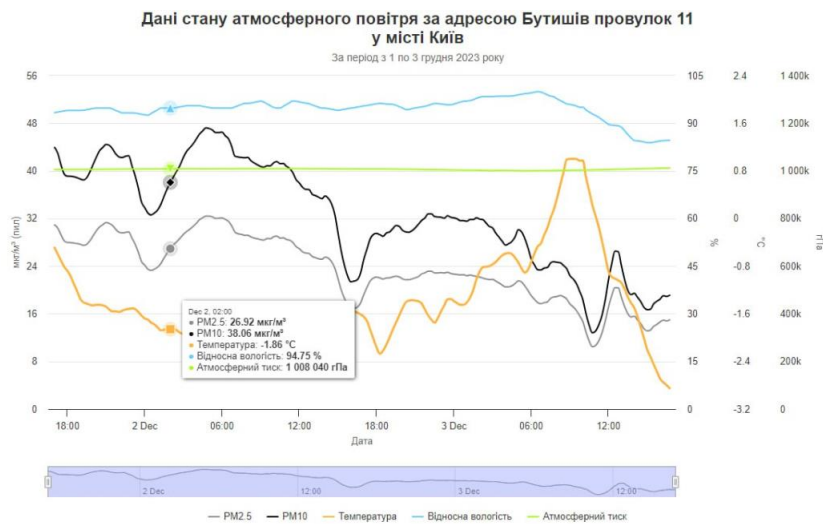


Рис. 2 Вихідні дані для нечіткого моделювання запиленості

Нечітка модель розроблена за алгоритмом Мамдані і має два нечіткі входи із шкалами для концентрації викидів у мкг/куб.м і один вихід із 100-бальною шкалою. Функції належності для входів мають форму Гауса, а для виходу – трикутну форму. Кількість правил нечіткого виведення дорівнює дев'яти.

На Рис. Знаведено поверхню рішень для нечіткої моделі запиленості.

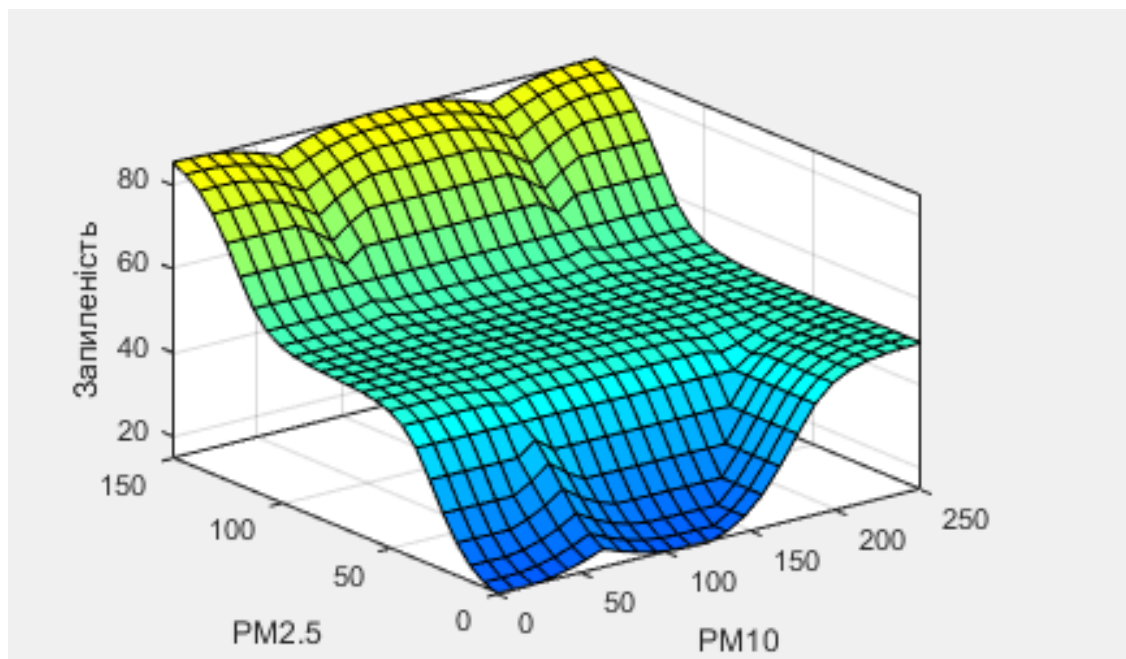


Рис. 3. Поверхня рішень нечіткої моделі запиленості: форма є достатньо опуклою

Поверхня рішень має форму, яка є максимально наближеною до всюди опуклої форми, що зменшує методичну похибку оцінювання запиленості до величини 0,01%-0,03%, якою можна знехтувати.

На Рис. 4 наведено процес нечіткого оцінювання запиленості.

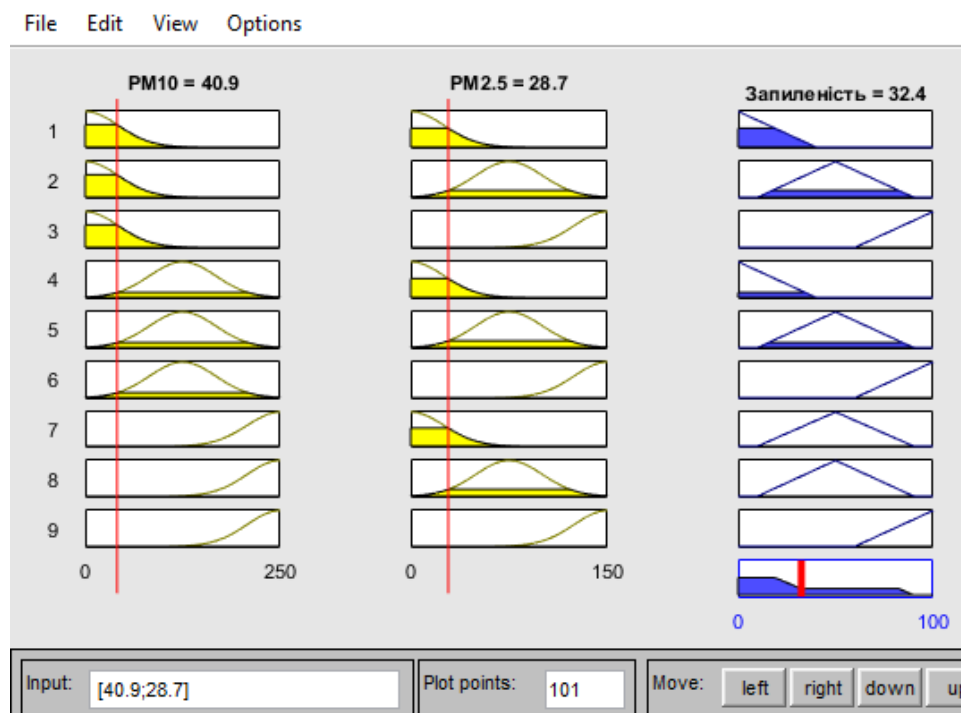


Рис. 4. Результат моделювання для даних по місту Києву: запиленість дорівнює 32,4 бали

Результати нечіткого оцінювання запиленості наведені у відповідному рядку таблиці 1.

## ВИСНОВКИ

Наявність різноманітних моделей стану оцінювання екологічного стану для різних джерел викидів забезпечує гнучкість та ефективність при розробці та використанні експертної системи контролю якості атмосферного повітря в умовах мегаполісу. Дослідження довели дієвість методу нечіткого моделювання для задач оцінювання якості атмосферного повітря в умовах мегаполісу на прикладі міста Києва. Запропонований авторами метод може бути альтернативним до прийнятої наразі моделі розрахунку коефіцієнту якості повітря на основі кусково лінійної апроксимації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Божко К.М., Морозова І.В. Нечітка модель для оцінювання якості атмосферного повітря *Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»* – 2022. –№4. – С. 134-141. DOI <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-19>
- [2]Godfrey H. Fuzzy Logic with MATLAB. – Great Space Independent Publishing Platform. – North Charleston, SC, USA. – 2016. – 328p.
- [3]<https://www.saveecobot.com/maps> [0]

*Наук. керівник –к.т.н., доцент Божко К.М.*

УДК 504.064

*П.Р. Васюк, студ. гр. ПІ-12*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **НЕЧІТКЕ ОЦІНЮВАННЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ ОСЕРЕДКІВ ГРАНІТУ**

**Анотація.** В роботі наведено результати оцінювання радіаційного фону в місцях знаходження гранітних брил граніту на території НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» на основі розробленої нечіткої моделі. Вихідні дані були отримані за результатами вимірювання потужності дози гамма- і бета-випромінювання приладом МКС-07 «ПОШУК». Встановлено, що фон у місцях локалізації граніту має в 3-6 раз більшу величину ніж середній радіаційний фон на території університету. Отримана нечітка модель може бути використана в якості експертної системи для оцінювання радіаційного фону як довкілля, так і окремих помешкань. Особливістю моделі є логарифмічний масштаб для потужності дози: в децибелах на 100 нанозіверт/годину для гамма-випромінювання і в децибелах на 10 часток/кв.см·хвилину для бета-часток.

**Ключові слова:** нечітка логіка, алгоритм Мамдані, радіаційний фон, гамма-випромінювання, бета-частки.

### **ВСТУП**

Важливою складовою моніторингу екологічного стану є вимірювання радіаційного фону. Як правило, фон визначають на основі величини потужності дози гамма-випромінювання. Проте, сучасні прилади радіаційного контролю мають також і канал для вимірювання потужності дози бета-випромінювання. Поєднання результатів вимірювання двома незалежними каналами підвищує достовірність отриманих даних. Тому доречно оцінювати радіаційний фон в бальній шкалі, яка поєднує гамма- і бета-фон. Вимірювання радіаційного фону, джерелом підвищення якого часто стають гранітні брили, наразі є актуальними як для довкілля [1], так і в середині приміщень, наприклад, бальнеологічних курортів [2]. Використання нечітких моделей підвищує достовірність і точність оцінювання радіаційного стану в осередках із значним скупченням людей, зокрема у студентських містечках [3].

Сучасні дослідження радіаційного фону українськими вченими спрямовані в основному на вдосконалення методу його вимірювання застосуванням бездротових датчиків [4], технологій інтернету речей [5], геоінформаційних систем [6] тощо. В цих дослідженнях використані результати вимірювання гамма-фону приладами серії МКС вітчизняного виробництва, проте в них не наведено свідчень про використання другого вимірювального каналу цих приладів – потужності дози бета-часток.

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою роботи є розробка нечіткої моделі за алгоритмом Мамдані для оцінювання радіаційного фону гранітних об'єктів на основі двох незалежних каналів вимірювання: потужності дози гамма-променів і бета-часток.

### **МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Вимірювання радіаційного фону здійснювали радіометром-дозиметром типу МКС-07 «ПОШУК» українського виробництва. Канал гамма-датчика приладу має граничну величину потужності дози 0,1 мкЗв/год. і невизначеність 6,7%. Потужність дози бета-часток вимірюють із невизначеністю 8,5%. Гранична величина тут дорівнює 10 часток/кв.см.хвил.



Вимірювання гамма- і бета- радіаційного фону локалізовані на території НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Результати вимірювань наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Визначення радіаційного фону на основі нечіткої моделі

№	Місця розташування гранітних брил (пам'ятників)	Гамма-фон, мкЗв/год.	Бета-фон, 1000/кв.см·хв.	Гамма-фон, дБ	Бета-фон, дБ	Нечітка оцінка загального фону, бали
1	Сходи, енергетичне крило корпусу 1	0,6	0,042	7,8	6,2	45,6
2	Конструктор Калінін	0,6	0,052	7,8	7,2	47,7
3	Ігор Сікорський	0,42	0,05	6,2	7	47,8
4	Є.О. Патон	0,51	0,061	7,1	7,9	48,6
5	Математик Кравчук	0,6	0,051	7,8	7,1	47,5
6	Філософ Конфуцій	0,27	0,023	4,3	3,6	30,6
7	Паровоз (граніт відсутній)	0,1	0,01	0	0	14,6

Нечітка модель оцінювання радіаційного фону була розроблена за такими умовами:

- розробка проекту здійснювалась за допомогою модуля FUZZY LOGIC у середовищі MATLAB;

- проект має назву «Радіаційний фон»;

- використано алгоритм Мамдані;

- модель має два входи із назвами «гамма» та «бета»;

- у моделі є один вихід із назвою «фон»;

- у моделі є по три нечіткі функції належності для входів і виходу;

- обрано Гаусову форму функцій належності для входів;

- задіяно трикутну форму функцій належності для виходу;

- розроблено дев'ять правил нечіткого виведення;

- задано стобальну вихідну шкалу оцінювання;

- використано логарифмічну шкалу для входів: 30 децибел для гамма- та 20 децибел для бета-випромінювання;

- розміри шкали для обох входів задано відповідно до експлуатаційних параметрів і характеристик радіометра-дозиметра МКС-07 «ПОШУК» та згідно до величин природного фону граніту;

- правила нечіткого виведення були розроблені за принципом вибору найгіршого результату із двох каналів вимірювання.

Прилад МКС-07 «ПОШУК» має динамічний діапазон у шість порядків або 60 децибел. Нульовий рівень при цьому відповідає границі чутливості приладу, тобто нуль децибел дорівнює потужності дози гамма-випромінювання у 0,1 мікрозиверт на годину для гамма-променів та 10 часток на квадратний сантиметр за одну хвилину для бета-часток.

Практичне значення для вимірювань радіаційного фону граніту має лише частина повного робочого діапазону приладу. Тому в моделі обмежено шкалу

для входів 30 дБ та 20 дБ для гамма- і бета-випромінювання відповідно.

Процес нечіткого моделювання і отримання бальних оцінок радіаційного фону осередків граніту на території університету наведено на рис.1.

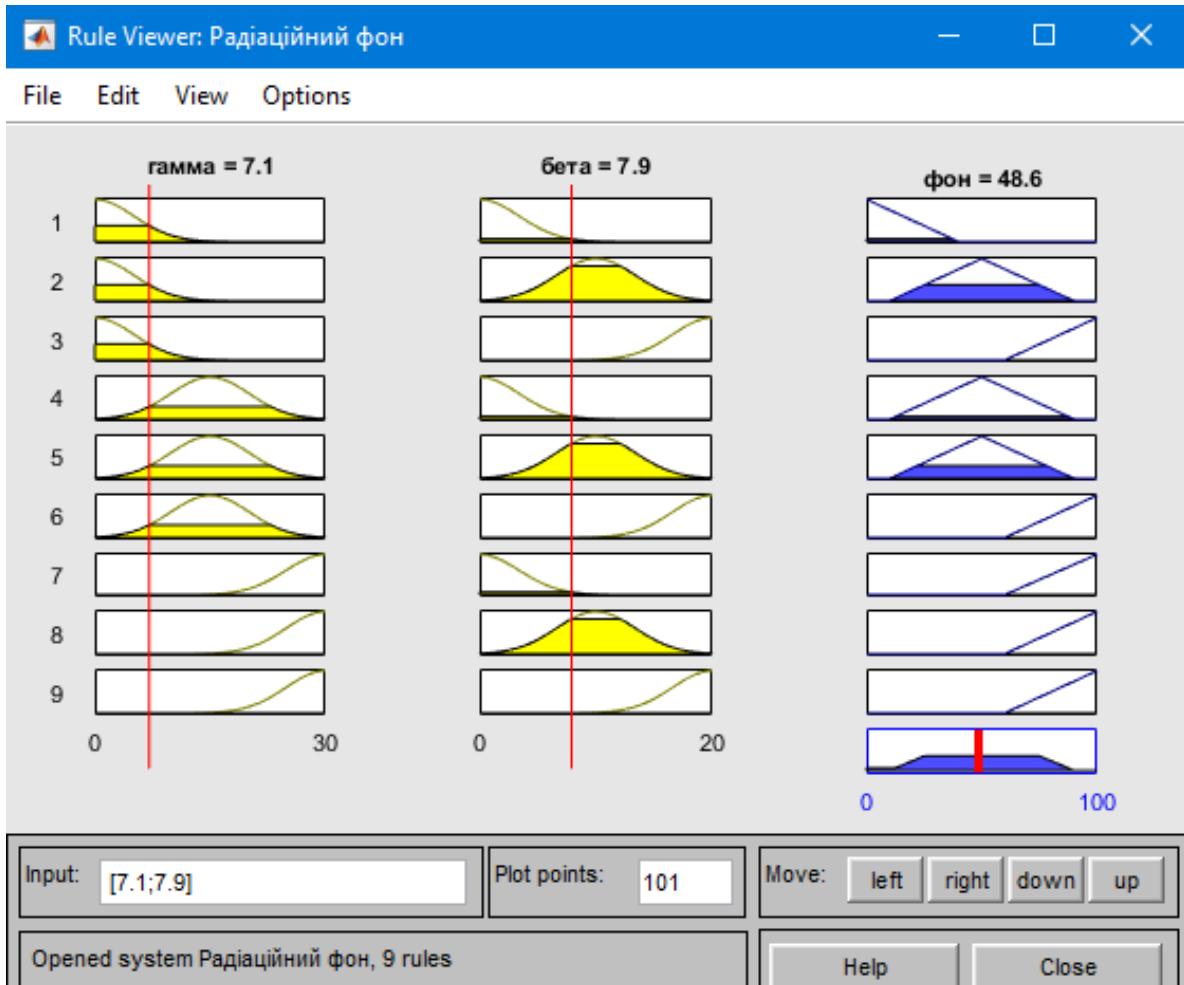


Рис.1 Нечітка оцінка радіаційного фону біля пам'ятника Є.О. Патону: гамма-фон – 0,51 мкЗв/год. (7,1 дБ); бета фон – 61 част./кв.см·хв. (7,9 дБ); фон – 48,6 бали

Особливістю моделі є звужування діапазону оцінок з метою запобігання екстремальних значень, які можуть бути занадто оптимістичними або загрозливими. Наприклад, рівень фону 0 дБ має мінімальну оцінку 14,6 бали, а не нуль балів. Максимальна оцінка фону дорівнює 85,4 бали. В такому функціонуванні нечітких моделей є закладений алгоритмом Мамдані принцип «розмитості» величин і уникнення надлишкової детермінованості оцінок.

Результати натурних вимірювань перетворювали за логарифмічним масштабом і вносили до вікон із движками, а вихідну оцінку отримували у вікні «фон» (Рис.1). Результати нечіткого оцінювання радіаційного фону наведені у останньому стовпчику таблиці 1.

Результати оцінювання радіаційного фону осередків граніту довели дієвість методу нечіткого моделювання і дозволили отримати порівняльну діаграму, яка є зручним наочним знаряддям для аналізу (Рис.2).

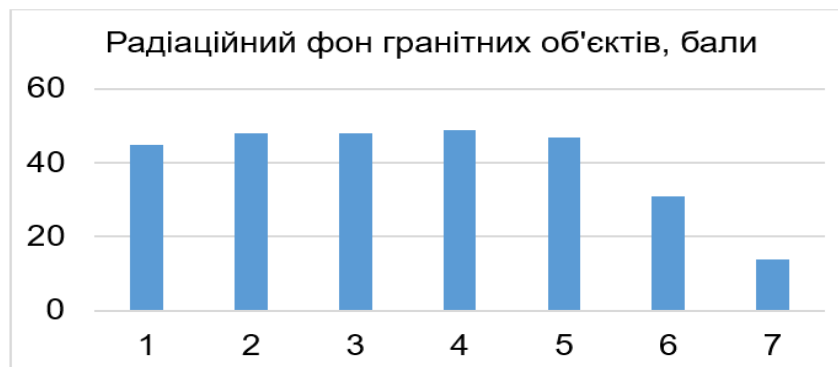


Рис. 2. Рейтинг радіаційного фону гранітних об'єктів

## ВИСНОВКИ

Результатом роботи є розробка нечіткої моделі з оцінювання радіаційного на основі даних про потужність дози гамма- та бета- випромінювання. Модель перевірено на масиві даних вимірювань фону в межах університету приладом МКС-07 «ПОШУК». Особливістю моделі є застосування логарифмічної шкали для входів. Перспективним напрямом наступних досліджень може бути нечітке оцінювання концентрації радону у повітрі за результатами вимірювання радіаційного фону.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Abdalla, A.M, Al-Naggar, T.I, Bashiri, A.M., Alsareii, S.A. (2022). Radiation shielding performance for local granites, *Progress in Nuclear Energy*, 150. DOI:10.1016/j.pnucene.2022.104294
- [2] Silva, A.S., Dinis, M.L. (2022). Assessment of indoor radon concentration and time-series analysis of gamma dose rate in three thermal spas from Portugal, *Environ Monit Assess*, 194:611. DOI:10.1007/s10661-022-10157-x
- [3] Hamd, Z., Almohammad, H.I., Lashin, M., Yousef, M. (2023). Intelligence-based fuzzy logic systems for predicting radiation protection awareness levels among university population, *Radiation Physics and Chemistry*, 208(1):110888. DOI:10.1016/j.radphyschem.2023.110888
- [4] Суховірська Л.П. Дослідження радіаційного фону в мікрорайонах м. Кропивницького за допомогою дозиметра-радіометра МКС-08-01 Гм «ДКС-96» та бездротових датчиків /Л. П. Суховірська, О. М. Лунгол, Д. В. Соменко, К. В. Гуменюк // *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології = Problems of Radiation Medicine and Radiobiology*. – 2019. – Вип. 24. – С. 194-209.
- [5] Терьохін В.Л. Застосування технологій ІоТ та хмарних сервісів для радіаційного моніторингу /В.Л. Терьохін, М.Г. Стервоєдов, О.В. Рідозуб // *Системи керування та комп'ютери*. – 2021. – № 2–3. – С. 60-68.
- [6] Гетманець О.М. Модель побудови радіаційного фону /О.М. Гетманець, К.Ю. Іванова, М.М. Пеліхатий // *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. – 2017. – Вип. 17. – С. 99-105.

*Наук. керівник –к.т.н., доцент Божко К.М.*

УДК 006.91-531.7

*З.О. Вознюк, студент гр. ПІ-з21мп, О.О. Редько, аспірант гр. ПІ-31ф*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ АЛКОТЕСТЕРІВ

**Анотація.** У роботі розглянуті алкотестери як об'єкт перевірки та калібрування. Метою данної роботи є дослідження метрологічних вимог, які висуваються до портативних та стаціонарних алкотестерів, що застосовуються у законодавчо регульованій сфері метрологічної діяльності. Зокрема, розглянуті засоби та методи перевірки та калібрування алкотестерів, джерела невизначеностей, що виникають при калібруванні та запропоновано методику калібрування.

**Ключові слова:** калібрування, перевірка, алкотестер, газоаналізатор, ЗВТ, газові суміші, невизначеність.

### ВСТУП

Алкотестери – це газоаналізатори призначені для визначення концентрації парів алкоголю у повітрі, що видихається. За призначенням поділяють на персональні та професійні, за способом застосування: мобільні та стаціонарні. Відмінність алкотестерів полягає у точності, відтворюваності та у граничній кількості проведення вимірювань на добу та часового інтервалу між вимірюваннями. Первинними перетворювачами алкотестерів можуть бути датчики таких типів: електрохімічний, напівпровідниковий, термокаталітичний, інфрачервоний. Часто сенсором використовують комірку електрохімічного типу.

Алкотестери належать до сфери законодавчо регульованої метрології відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (далі – Закон) [1] стаття 3 п. 5 та 12: контроль безпеки дорожнього руху та технічного стану транспортних засобів й роботи, що виконуються за дорученням органів досудового розслідування, органів прокуратури та судів. Окрім перевірки алкотестерів за сферою застосування передбаченої Законом, на перевірку або калібрування подають ті прилади, що застосовуються при передрейсовому медичному огляді водіїв, машиністів, пілотів та при допуску працівників на потенційно аварійно небезпечні ділянки виробництва. Згідно з [2] визначена категорія законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки (ЗВТ) 13. Вимірювачі вмісту алкоголю в крові та повітрі, що видихається. На перевірку відповідно до [3] передбачено не менше 3,5 години. Характеристики робочих еталонів визначено у ДСТУ 8950:2019 [4].

### МЕТА

Алкотестери входять до переліку законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці. Вимірювальний канал цього типу газоаналізатора повіряється із застосуванням окремих робочих еталонів. Отже, метою цієї роботи є:

- аналіз методів та засобів (робочі еталони та допоміжне обладнання) перевірки алкотестерів;
- визначення основних складових невизначеності під час вимірювання при калібруванні;
- розробка методики калібрування робочих еталонів для перевірки.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Алкотестери можна розділити на чотири групи: персональні мобільного використання (рис. 1 а); персональні вбудовані в автомобіль та під'єднані до бортового комп'ютера або стартера (рис. 1 б); професійні з принтером, які використовуються правоохоронними органами або лікарями кабінетів медичних оглядів (рис. 1 в); професійні стаціонарні, які застосовуються при допуску людей на робочу зміну підприємства та контролю стану здоров'я після роботи з метою дотримання трудової дисципліни (рис. 1 г).



а) персональні мобільні



б) персональні вбудовані в авто



в) професійні мобільні з принтером



г) професійні стаціонарні для підприємств

Рисунок 1. Алкотестери за принципом застосування

Кожен з них має свої переваги та недоліки, принцип дії, сферу застосування.

Принцип дії сенсору електрохімічного типу заснований на явищі електролізу (електрохімічної реакції) в електрохімічній комірці, яка є ємністю з розчином електроліту з трьома електродами: робочого (газопроникної плівки з нанесеним каталізатором з дорогоцінного металу), референсного та інтегруючого, які розміщені в пластиковому корпусі з електролітом. У датчику використовується потенціостатичний ланцюг, який забезпечує постійну напругу між робочим та референсним електродами. Струм, що виникає в ході хімічних реакцій на робочому та інтегруючому електродах, пропорційний концентрації газу, що вимірюється.

Газ, що аналізується, вступає у хімічну реакцію з електролітом, який заповнює комірку. В результаті в розчині виникають заряджені іони, між електродами починає протікати електричний струм, пропорційний концентрації аналізованого компонента в пробі. Переваги цього типу сенсора: лінійний вихідний сигнал, високу точність та відтворюваність результатів. До вимірювального каналу, окрім сенсора, входить перетворювач струм-напруга, попередній підсилювач, мікроконтролер із запрограмованою градуальною характеристикою, індикатор.

Шведський хімік Ерік М. П. Відмарк розробив формулу для визначення максимально можливої в теорії концентрації етанолу в крові (опублікована в 1932 р.), яка використовується зараз (1):

$$c = \frac{A}{m \cdot r}, \quad (1)$$

де:  $c$  – концентрація алкоголю в крові, %;  $A$  – маса випитого чистого

алкоголю, г;  $m$  – маса тіла, кг;  $r$  – коефіцієнт розподілу Відмарка (0,70 – для чоловіків, 0,60 – для жінок). Для отримання реальної концентрації етанолу в крові від очікуваної за наведеною вище формулою необхідно відняти від маси випитого чистого алкоголю  $A$  значення від 10% (вживання алкоголю натщесерце) до 30% (вживання алкоголю на повний шлунок) так званий дефіцит резорбції, оскільки частина алкоголю не надходить у периферичну кров.

Для того щоб перевести одиниці вимірювання вмісту алкоголю в крові в одиниці вмісту алкоголю в парах повітря, необхідно скористатися спеціальною формулою (формула Дубровського) (2):

$$C_{air} = C_{eau} \cdot K_1 \cdot e^{(K_2 \cdot t)} \quad (2)$$

де  $C_{air}$  (повітря) – концентрація алкоголю в повітрі (мг/л);  $C_{eau}$  (вода) – концентрація алкоголю в рідині (г/л);  $K_1$  – постійна величина 0,04145;  $K_2$  – постійна величина 0,06583;  $(K_2 \cdot t)$  – ступінь числа  $e$ ;  $t$  – температура в градусах за Цельсієм.

За результатами аналізу джерел [4]-[6], для перевірки застосовуються або калібрувальні газові суміші (КГС) або генератор парів спирту зі стандартними розчинами спирту у воді (Рис. 2).

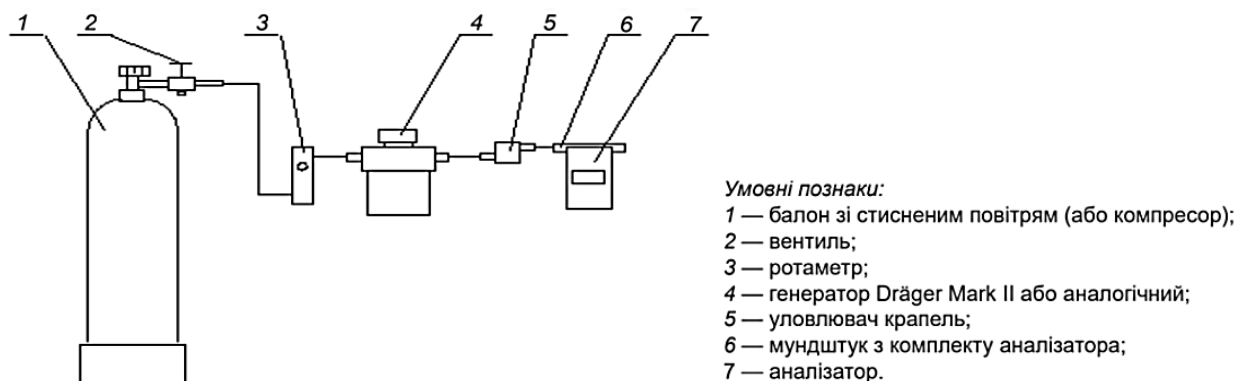


Рисунок 2. Схема для визначення метрологічних характеристик аналізаторів із застосуванням генератора газових сумішей «етанол – повітря»

Дійсне значення масової концентрації етилового спирту в КГС на виході з генератора, мг/м<sup>3</sup>, обчислюють за формулою:

$$C_{КГС} = 388.66 \cdot c_a^p, \quad (3)$$

де  $c_a^p$  – атестоване значення масової концентрації етанолу в СЗ (стандартний зразок) водного розчину, зазначене в паспорті СЗ, мг/см<sup>3</sup>. Масова концентрація парів етилового спирту 0,476 мг/дм<sup>3</sup> у повітрі відповідає вмісту алкоголю в крові 0,1 % (1 ‰). Відношення розширеної невизначеності за довірчої ймовірності 95 % масової концентрації парів етилового спирту в КГС до максимально допустимої похибки аналізатора, який повіряють, не повинно перевищувати 1:3.

Вимірювання концентрації етанолу в повітрі в Україні простежуються до СМС-рядків ключевих звірень внесених до бази даних КСДВ ВІРМ – запис про участь ДП «Укрметртестстандарт» від 30.06.2016 року на діапазоні від 50 до 500 мкмоль/моль з розширеною невизначеністю 0,7%.

Розроблено методику калібрування робочого еталону – генераторів газових сумішей спирту та води типу ALCOSIM (Канада), які шляхом барботування повітря у водному розчині спирту створюють суміш з концентрацією етанолу від

40 до 2000 мг/м<sup>3</sup> з відносною похибкою від 5% до 10% із застосуванням генераторів (вторинних еталонів) та стандартних зразків ДСЗУ 022.184. Додатково описано вимоги до калібрування допоміжного обладнання, яке застосовується при повірці: барометра, термометра, вологоміра та ротаметра.

Основними джерелами невизначеності під час калібрування ідентифіковано: точність робочих еталонів, застосованих під час калібрування; невизначеність мас, чистоти, молярних мас вихідних газів, дрейф еталонів, недостатня гомогенізація, невизначеності поправок. Оскільки об'єктом калібрування є високоточне обладнання, то найбільшим внеском у бюджет невизначеності є невизначеність робочих еталонів.

## **ВИСНОВКИ**

За результатами аналізу принципів дії алкотестерів, методики повірки [4, 5] та методів оцінювання невизначеності [6] визначено вимоги до точності робочих еталонів для повірки та вимоги до їх калібрування. Розроблено методику калібрування та проведено її валідацію за ДСТУ ГОСТ ІСО 5725 із врахуванням факторів зміни навколишніх умов, операторів, дня калібрування. Розширена невизначеність калібрування складала від 2% до 4%.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Редакція від 01.01.2022 р. № 1314-VII.
- [2] Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці» від 4 червня 2015 р. № 374.
- [3] Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України «Про затвердження Норм часу, необхідного для проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації» від 21.12.2015 № 1719, редакція від 14.04.2023.
- [4] ДСТУ 8950:2019. Метрологія. Вимірювачі вмісту алкоголю в крові та видихуваному повітрі. Методика повірки. Чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 14 с.
- [5] ДСТУ 3214:2003. Державна повірочна схема для засобів вимірювання вмісту компонентів у газових середовищах. Чинний від 2004-01-01. Вид. офіц. Київ : ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2003. – 15 с.
- [6] ДСТУ 6143:2003. Аналіз газів. Методи компарування для визначання та перевіряння складу повірочних газових сумішей. Чинний від 2004-01-01. Вид. офіц. Київ : ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2003. – 32 с.

*Науковий керівник - к.т.н., доцент Мокійчук В.М.*

## УДК 621.317

*Ю.О. Гаврилюк, студент гр. ПІ-з21мп, Р.Т. Корень, студент гр. ПІ-21мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЩІЛЬНОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ

**Анотація.** Для контролю щільності полімерної плівки доцільно використовувати безконтактні методи отримання вимірювальної інформації. Перспективним безконтактним методом, який можна використати для вимірювання щільності контрольованого матеріалу, є саме ультразвуковий. При реалізації безконтактного ультразвукового метода на практиці необхідно застосувати відповідний перетворювач, що буде перетворювати імпульсний сигнал в однополярну напругу. У роботі наведено спрощену електричну схему вимірювального перетворювача та наведено принцип його дії.

**Ключові слова:** безконтактний метод, ультразвукові хвилі, вимірювальний перетворювач, мікроконтролер, імпульсний сигнал, щільність матеріалу, полімерна плівка.

#### ВСТУП

Сьогодні досить гостро стоїть питання розвитку новітніх технологій в сучасній промисловості. Це питання підводить до необхідності застосування безконтактних технологій в інформаційно-вимірювальній техніці на виробництві безпосередньо для більшості технологічних процесів з виготовлення готової продукції. Технології отримання вимірювальної інформації в процесі оперативного контролю щільності матеріалу плівки дасть можливість отримувати інформацію про технологічний параметр в кожній точці виробу, що дозволить підвищити його якість.

#### ПРИНЦИП ДІЇ СХЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Спрощена комп'ютерна модель електричної схеми вимірювального перетворювача ультразвукових хвиль для безконтактного пристрою, що вимірює щільність  $\rho$  матеріалу плівки, показана на рисунку 1.

У схемі наведено канал пристрою для проходження ультразвукових хвиль крізь полімерну плівку з контрольованою щільністю  $\rho$ . Цей вимірювальний канал підключається до першого входу мікроконтролера (PIC16F887), до другого його входу може підключатися опорне джерело напруги, яке буде задавати значення амплітуди ультразвукової хвилі, яка падає на полімерний матеріал.

На рисунку 2 та на рисунку 3 показано процес симуляції роботи вимірювального перетворювача безконтактного пристрою. У вимірювальному каналі формуються імпульсні інформаційні сигнали, які відповідають хвилям, які проходять крізь контрольовану полімерну плівку.

Розглянемо імпульсний сигнал, що проходить крізь контрольовану полімерну плівку із щільністю  $\rho$ , і який можна перетворити в постійну напругу із максимальним підсиленням за потужністю. Зазначений процес в симуляції показаний на рисунку 2. Далі імпульсний інформаційний сигнал, після його детектування і створення постійної напруги, подається на мікроконтролер, що перетворює його в цифровий код, так як і опорну напругу. За оцифрованими напругами опрацьовується вимірювальна інформація і виводиться на LCD екран та на ПК, що показано на рисунку 3.



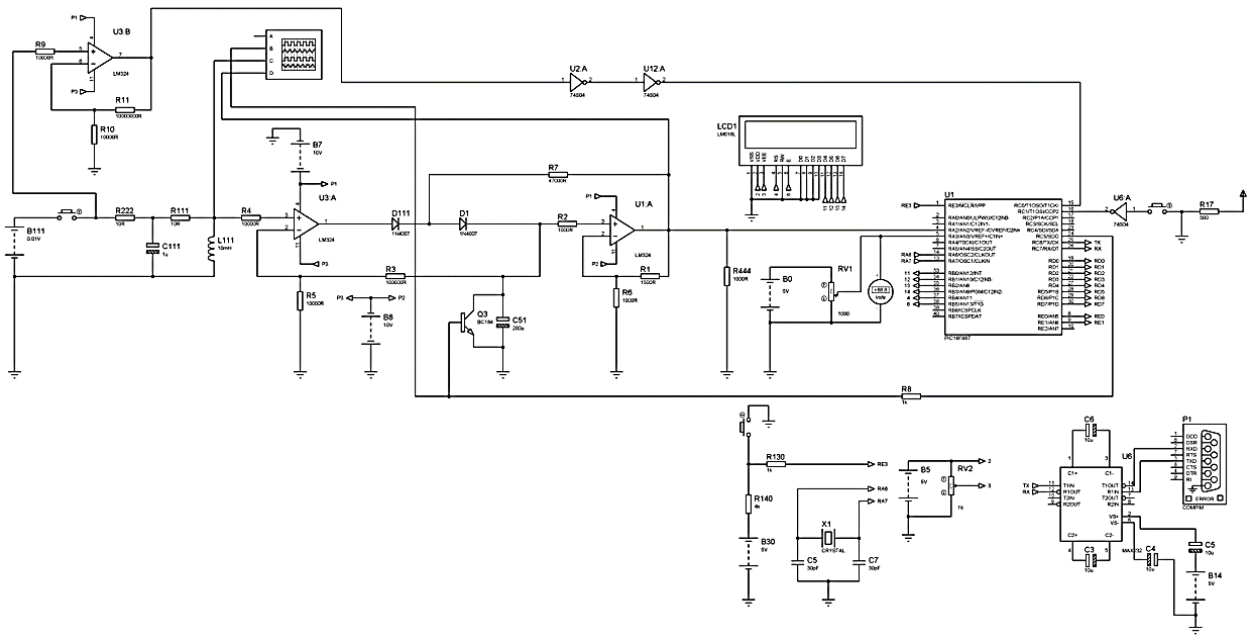
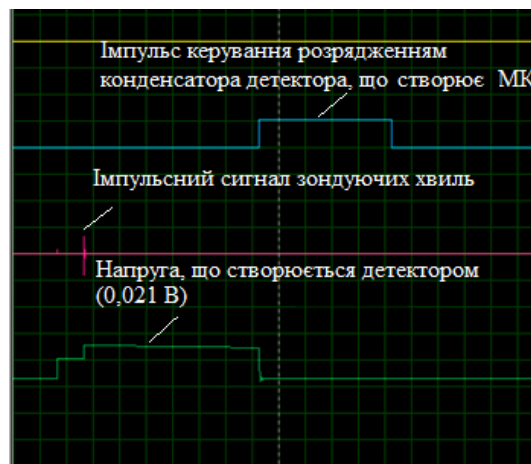


Рисунок 1. Електрична схема вимірювального перетворювача



а



б

Рисунок 2. Імпульсний сигнал та напруги вимірювального перетворювача, які характеризують принцип його роботи:

а – загальний вид ключових діаграм напруг перетворювача;

б – збільшений масштаб у часі за амплітудою діаграм напруг перетворювача, що показують принцип його роботи

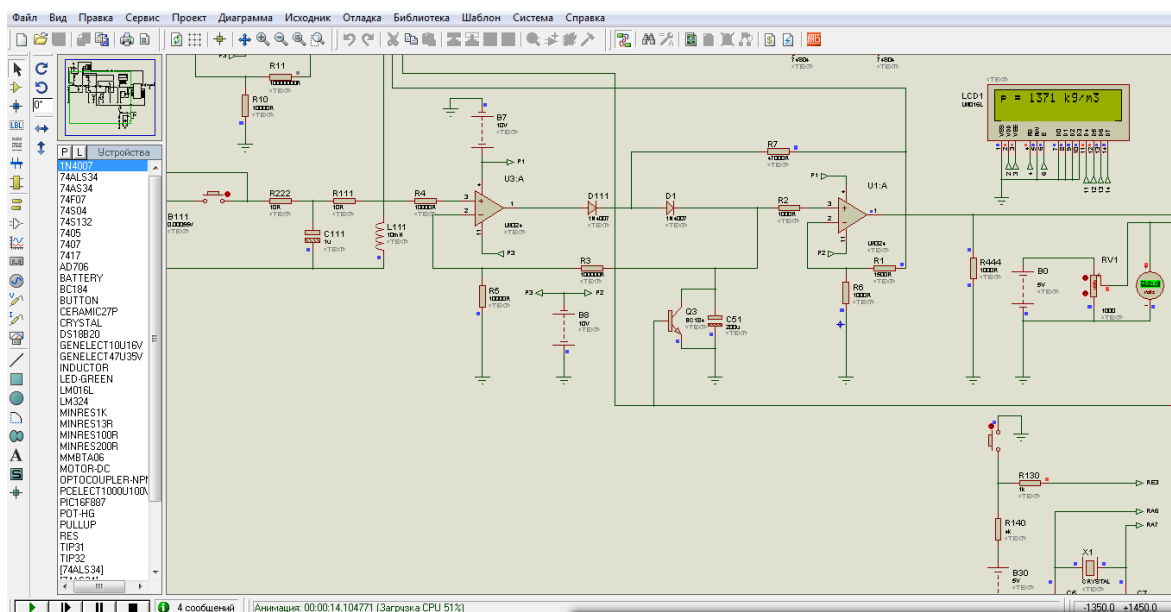


Рисунок 3. Симуляція виведення вимірювальним перетворювачем отриманої інформації

Можна коригувати значення початкової щільності повітряного середовища за джерелом опорної напруги, рівень якого можна налаштовувати відповідним змінним електричним опором для симуляції роботи схеми, а можна задавати це значення програмно вводячи в мікроконтролер константи. Запропонована електрична схема дозволяє проаналізувати роботу системи із її подальшою симуляцією.

## ВИСНОВКИ

Застосування вимірювального перетворювача для контролю щільності полімерної плівки дозволить оперативно визначати невідомий технологічний параметр в процесі виробництва. Наведена у роботі схема дозволяє проаналізувати роботу перетворювача із застосуванням коду для налаштування системи мікроконтролером на різний матеріал полімерної плівки, що контролюється.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Єременко В.С. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем / В.С.Єременко, В.П.Бабак, С.В.Бабак та ін.: за ред. В.П.Бабака. – К.: УН-т новітніх технологій НАУ, 2017. – 496 с.
- [2] Якименко Ю.І. Мікропроцесорна техніка: підручник/ Ю.І.Якименко, Т.О. Терещенко, Є.І. Сокол, В.Я. Жуйков, Ю.С. Петергеря; За ред. Т.О. Терещенко.– 2–ге вид. перероб. Та доповн. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»; «Кондор», 2004.–440с.
- [3] Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: Підручник / В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський, В.В. Грабко. – Херсон: Олді-плюс, 2013.–538 с.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Барилко С.В.*

УДК 006.91

*В.В. Гаманюк, студент гр. ПІ-з21мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КАЛІБРУВАННЯ АНЕМОМЕТРІВ

**Анотація.** Розглянуті питання метрологічного забезпечення анемометрів, повірки та калібрування анемометрів, методи та засоби калібрування. Проаналізовані вимоги до точності анемометрів та засобів їх повірки або калібрування. Показано різні методи для визначення метрологічних характеристик анемометрів. Ідентифіковано джерела невизначеності під час калібрування, показано рішення для роботи калібрувальних лабораторій за місцем експлуатації анемометрів.

**Ключові слова:** анемометри, колісні транспортні засоби, калібрування, повірка, невизначеність.

### ВСТУП

Анемометр – це прилад, який використовується для вимірювання швидкості вітру, повітряних потоків, газових потоків тощо. Анемометри широко використовуються в різних сферах, зокрема в метеорології для прогнозування погоди, в авіації для безпеки польотів, у вітровій енергетиці для визначення потенційних місць для встановлення вітрових турбін та в інших галузях, де важлива точна вимірювання швидкості вітру. Важливим є застосування анемометрів для дослідження систем вентиляції для вимірювання об'єму повітря, що циркулює через вентиляційні канали та системи. Вони дозволяють точно визначити швидкість повітря, об'ємні потоки та розподіл повітря в системах вентиляції. Виникає питання щодо метрологічного забезпечення анемометрів, повірка чи калібрування?

### МЕТА

Провести аналіз нормативної бази України з метрології щодо статусу анемометрів.

Визначити вимоги до точності анемометрів.

Провести аналізування методів та засобів калібрування анемометрів.

Розробити методіку калібрування та визначити основні складові невизначеності вимірювання під час калібрування.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Анемометри можуть належати до сфери законодавчо регульованої метрології відповідно до [1] стаття 3:

якщо вони застосовуються для робіт, які належать до таких видів діяльності:

- контроль стану навколишнього природного середовища;
- контроль безпеки умов праці;

Але відповідно до [2] відсутня така категорія, як анемометри, відповідно до [3] повірка теж не передбачена. Отже, для метрологічного забезпечення може застосовуватися або верифікація або калібрування анемометрів. Наприклад в ДСТУ 3649:2010 [4] під час випробувань за п. 7.6.3 – «Для визначення рівня зовнішнього шуму (звуку) нерухомого КТЗ застосовують будь-який майданчик необхідних розмірів з асфальтобетонним або цементнобетонним покритвом та метод згідно з ДСТУ UN/ECE R 51-02» використовується анемометр, оскільки випробування не проводяться, якщо швидкість вітру більше 5 м/с. Вимірювання

проводять в діапазоні 0-10 м/с з абсолютною похибкою  $\pm 0,5$  м/с. Отже, якщо такі прилади застосовуються під час сертифікаційних випробувань які проводять акредитовані органи оцінки відповідності за ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019 [5] анемометр має бути відкалібровано.

Розрізняють декілька типів анемометрів за конструкцією та принципом дії, а саме механічні – чашкові та крильчасті (Рис. 1 а, б), теплові (Рис. 1 в) та ультразвукові (Рис. 1 г). Типові метрологічні характеристики наведені в Табл. 1

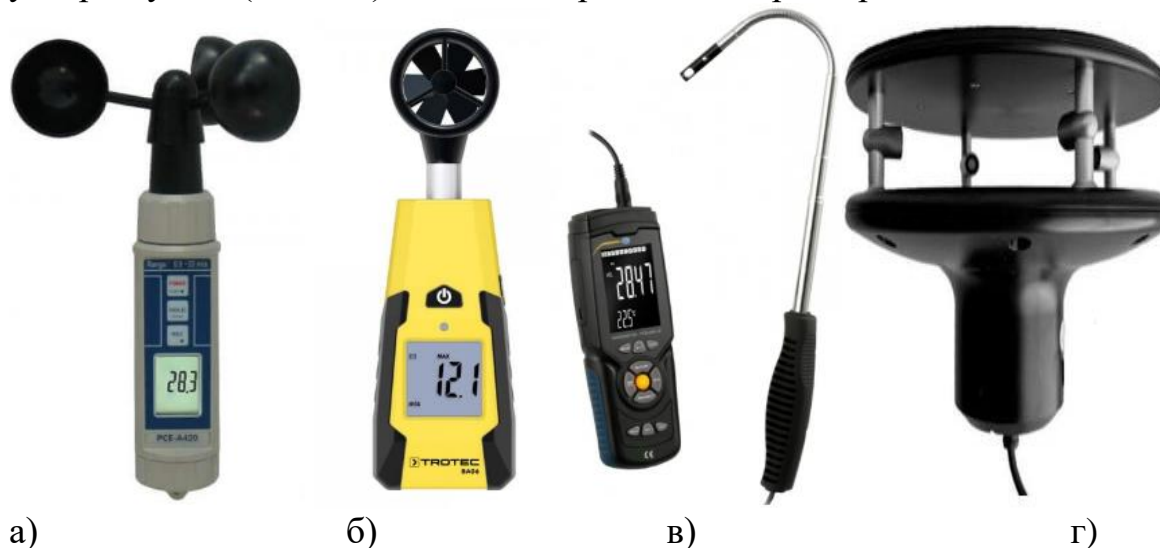


Рисунок 1 Анемометри різних типів

- а) – PCE-A420 чашковий анемометр, діапазон 0,9–35 м/с;  $\delta = \pm 2\%$ ;  
 б) – Trotec VA06 лопатний анемометр, діапазон 1,1–30 м/с;  $(\delta+\Delta) = \pm (3\% + 0,3 \text{ м/с})$ ;  
 в) – PCE-HWA 30 термоанемометр, діапазон 0,3–30,0 м/с;  $\delta = \pm 3\%$ ;  
 г) – TM-850-U ультразвуковий анемометр, діапазон 0–75,0 м/с;  $\Delta = \pm 0,2 \text{ м/с}$  ( $v < 10 \text{ м/с}$ ) і  $\delta \pm 2\%$  ( $10 \text{ м/с} < v < 65 \text{ м/с}$ ).

Таблиця 1 Порівняльний аналіз анемометрів

Характеристика	Механічний анемометр	Ультразвуковий анемометр	Тепловий анемометр	Лазерний анемометр
Діапазон вимірювання	0,5 - 100 м/с	0,1 - 100 м/с	0,1 - 50 м/с	0.01 - 75 м/с
Мінімальна похибка	$\pm 1,5\% + 0,2 \text{ м/с}$	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$ або 0,2 м/с	$\pm 0,5\% + 0,05 \text{ м/с}$
Сфера застосування	Широкий спектр, від метеорології до промисловості	аеродинамічні, аерокосмічні дослідження, метеорологія	Вентиляція, діагностика систем охолодження, індустрія	Лабораторні, наукові дослідження, промислові застосування
Виробники	Davis Instruments, La Crosse Technology, Rika, Testo	Gill Instruments, Thermo Anemometers, TSI, Kanomax	PCE Instruments, Extech Instruments, Fluke, Testo	Kestrel, Ametek, TSI, PCE Instruments

Як показав аналіз, конструктивні особливості анемометрів визначають як діапазон вимірювання, так механічні мають вищий поріг чутливості, оскільки є механічні обертові частини, термоанемометри мають менший верхній діапазон,

так і сферу застосування. Наприклад ультразвукові експлуатуються у будь-яких географічних широтах (високогірних, морських, низькотемпературних) оскільки у них відсутні рухомі елементи, мають захист сенсорів від налипання снігу та інтелектуальний підігрів.

Для калібрування анемометрів застосовуються декілька методів, це калібрування із застосуванням аеродинамічної труби (Рис. 2 а), та калібрування із застосуванням трубок Піто (Рис. 2 б) та калібрування із застосуванням лазерних вимірювачів швидкості потоку (Рис. 2 в).

Аеродинамічна труба: це велика труби, всередині яких рухається повітря. У них є вентилятор, який переміщує повітря всередині. Вентилятор повинен мати випрямляючі лопатки для плавного потоку повітря. Випробуваний прилад розміщують або посередині тунелю і закріплюють, таким чином щоб він не рухався (кільцева або проточна труба) або на виході труби навпроти сопла (нагнітаюча труба).

Трубки Піто: це прилади для вимірювання тиску, які використовуються для вимірювання швидкості потоку рідини. Еталонна трубка – це тонка трубка з двома отворами. Передній отвір розташований безпосередньо в потоці речовини і вимірює тиск спокою. Бічний отвір вимірює статичний тиск. Вимірюючи різницю між цими тисками, можна отримати динамічний тиск за формулою Бернуллі, яку можна використовувати для розрахунку швидкості повітря.

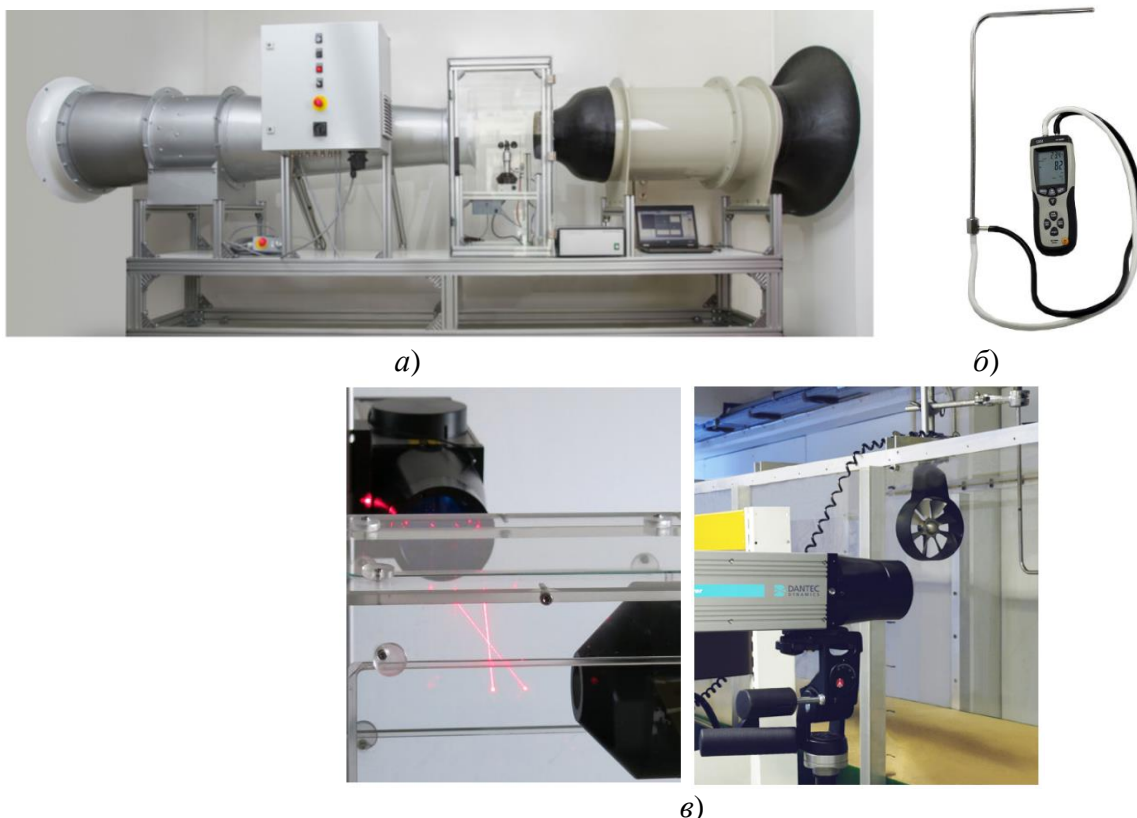


Рисунок 2 Робочі еталони для калібрування анемометрів

Перевагою аеродинамічних труб є широкий діапазон регулювання швидкості потоку, у свою чергу трубки Піто мають більшу точність але обмежений діапазон кожної трубки. Використовувані трубки Піто повинні бути відкалібровані для відповідних діапазонів швидкості вітру та задокументовані.

До аеродинамічної труби також пред'являються особливі вимоги. Наявність анемометра не повинна суттєво впливати на поле потоку в аеродинамічній трубі. Потік по всій площі, охопленій анемометром, повинен бути рівномірним та стабільним.

Лазерні вимірювачі (лазерна доплерівська велосиметрія) використовують у комплексі з аеродинамічними трубами або з простішими пристроями нагнітання потоку повітря. Аналіз технічних характеристик показав, що лазерні вимірювачі забезпечують найвищу точність, відносна розширена невизначеність на рівні  $U=0,11\%$  та чутливість не гірше  $0,002\%$  від обраного діапазона.

Враховуючи викладену вище інформацію була розроблена методика калібрування із застосуванням аеродинамічної труби та лазерного вимірювача. Результати аналізування та обчислення невизначеності показали, що основний внесок формують: невизначеність робочих еталонів та повторюваність, обумовлена саме рівномірністю та стабільністю потоку в трубі.

## ВИСНОВКИ

Аналіз актуальної документації з метрології показав, що повірка анемометрів не передбачена, отже анемометри можуть бути відкалібровані. Оптимальним варіантом для калібрування є застосування аеродинамічної труби та лазерного вимірювача у якості робочих еталонів. Результати валідації методики калібрування показали, що мінімальна досяжна невизначеність калібрування  $U=0,15\%+0,01\text{м/с}$  за стабільності потоку повітря не гірше  $0,2\%$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 р. № 1314-VII : станом на 1 січ. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text> (дата звернення: 01.12.2023).
- [2] Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці : Постанова Каб. Міністрів України від 04.06.2015 р. № 374: станом на 1 січ. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/374-2015-п#Text> (дата звернення: 01.12.2023).
- [3] Про затвердження Норм часу, необхідного для проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації : Наказ М-ва екон. розвитку і торгівлі України від 21.12.2015 р. № 1719 : станом на 14 квіт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0051-16#Text> (дата звернення: 01.12.2023).
- [4] ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. Чинний від 2011-07-01. Вид. офіц. Київ : ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2011. 28 с.
- [5] ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019. Оцінка відповідності. Вимоги до органів з сертифікації продукції, процесів та послуг (EN ISO/IEC 17065:2012, IDT; ISO/IEC 17065:2012, IDT). Чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 28 с. [0]

*Науковий керівник - к.т.н., доцент Самарцев Ю.М.*

## УДК 006.91

А.В. Гапончук<sup>1</sup>, студентка гр. ПІ-з21мп, к.т.н., доц. Самойліченко О. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського, <sup>2</sup> Національний авіаційний університет

### КАЛІБРУВАННЯ ІНФРАЧЕРВОНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ

**Анотація.** Розглянуті питання калібрування пірометрів та тепловізорів, проаналізовані методи та засоби калібрування. Проаналізовані вимоги до точності пірометрів медичного та промислового призначення. Розглянуто характеристики АЧТ як робочих еталонів для калібрування. Визначено основні джерела невизначеності під час калібрування пірометрів та тепловізорів.

**Ключові слова:** пірометр, тепловізор, калібрування, невизначеність, абсолютно чорне тіло.

### ВСТУП

Інфрачервоні вимірювачі температури вимірюють температуру поверхонь за інтенсивністю електромагнітного випромінювання в діапазоні інфрачервоних хвиль який лежить між червоною межею видимого світла з довжиною хвилі  $\lambda = 700$  нм (частота близько 430 ТГц) та мікрохвильовим випромінюванням з довжиною хвилі  $\lambda \sim 1$  мм (частота близько 300 ГГц). До таких приладів належать пірометри та тепловізори. Більшість пристроїв налаштовані на діапазон 8-14 мкм.

Пірометр (англ. pyrometer, нім. Pyrometer n, Wärmemesser m, Nochttemperaturmesser m) — прилад для безконтактного вимірювання температури непрозорих тіл за їхнім випромінюванням в оптичному діапазоні спектра. Тепловізор (інфрачервона камера) — оптико-електронний прилад для візуалізації температурного поля та вимірювання температури. За принципом дії з погляду калібрування тепловізор це багато пірометрів об'єднаних в матрицю.

### МЕТА

Пірометри та тепловізори можна віднести до переліку законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки [1], [2], що підлягають періодичній повірці, якщо можливе застосування пірометрів або тепловізорів належать такі види діяльності [1]:

- 1) забезпечення захисту життя та охорони здоров'я громадян;
- 4) контроль безпеки умов праці;

Відповідно до [2] передбачена категорія 45. Медичні термометри. На повірку відповідно до [3] передбачено від 2 годин.

У іншому випадку, такі прилади можуть застосовуватися під час сертифікаційних випробувань, наприклад будівельних матеріалів, огорожувальних конструкцій тощо. В цьому випадку такі прилади підлягають калібруванню.

Безпосередні вказівки щодо пірометрів або тепловізорів у національних нормативних документах відсутні.

Отже, метою цієї роботи є:

- визначення вимог до точності пірометрів та тепловізорів та відповідної точності робочих еталонів, які застосовуються під час калібрування,
- визначення основних складових невизначеності калібрування,
- розробка методики калібрування пірометрів/тепловізорів.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Аналізування технічних характеристик наявних на ринку пірометрів для побутових та промислових потреб показав, що значення їх відносної похибки лежить в межах  $\pm 0,75\%$  (пірометр Raytek MX6 Phototemp, Рис. 1 а) –  $\pm 2\%$  (TermPro TP30 Рис. 1 б), для медичних пірометрів вимоги жорсткіші, максимальна похибка має бути  $\pm 0,2^\circ\text{C}$  Рис. 1 в. Для тепловізорів значення похибки в рази більше за пірометри, тому для вибору робочих еталонів та розроблення методики калібрування надалі доцільно орієнтуватися на вимоги щодо пірометрів.



Рисунок 1. Пірометри а) промисловий, б) побутовий, в) медичний

Важливою характеристикою пірометра є показник візурування (інша назва оптична роздільна здатність) – характеристика від якої залежить:

- дальність дистанції можливої для вимірювання;
- розмір об'єкта, площа об'єкта, температура якого вимірюється.

Для доступних побутових моделей, цей показник становить 8:1 або 12:1, для промислових приладів може бути 50:1 і більше. Основна умова – об'єкт повинен повністю поміщатися в полі зору пірометра Рис. 2.

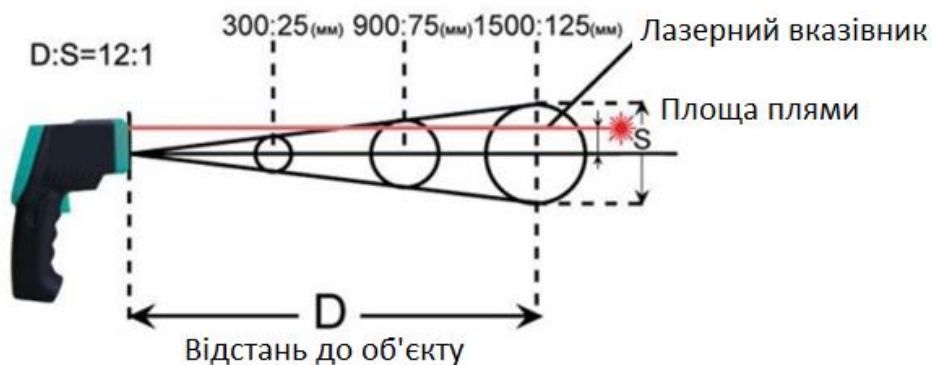


Рисунок 2. До поняття показник візурування

Другою характеристикою, яку потрібно враховувати під час вимірювання та калібрування є коефіцієнт випромінювання (емісії)  $\epsilon$ . Більшість побутових пірометрів має встановлене значення  $\epsilon=0,95$ . Є пірометри у яких це значення можна змінювати. Слід зазначити, що чим ближче встановлене значення на пірометрі до значення поверхні, наприклад Табл. 1 [5] тим точніші будуть результати вимірювання.



Таблиця 1 Значення коефіцієнту випромінювання матеріалів

Назва матеріалу	$\epsilon$	Назва матеріалу	$\epsilon$
Алюміній шорсткий	0,1 - 0,3	Дерево (натуральне)	0,9 - 0,95
Алюміній оксидований	0,2 - 0,4	Земля	0,92 - 0,96
Азбест	0,92 - 0,95	Шкіра	0,98
Асфальт	0,92 - 0,95	Цегла (шорстка)	0,90 - 0,95
Бетон	0,92 - 0,95	Пісок	0,9
Вода	0,93	Пластик	0,85 - 0,95
Папір (будь-якого кольору)	0,95	Лак емалевий, чорний	0,95

Для калібрування пірометрів та тепловізорів застосовують спеціальні пристрої, які оснащені випромінюючою поверхнею (абсолютно чорне тіло АЧТ) та термометром, який вимірює температуру цієї поверхні. Залежно від вимог до точності є різні прилади. На Рис. 3 наведені робочі еталони українського виробництва. В табл. 2 наведено їх характеристики. Наведені прилади були обрані як робочі еталони для калібрування і розроблення відповідної методики.

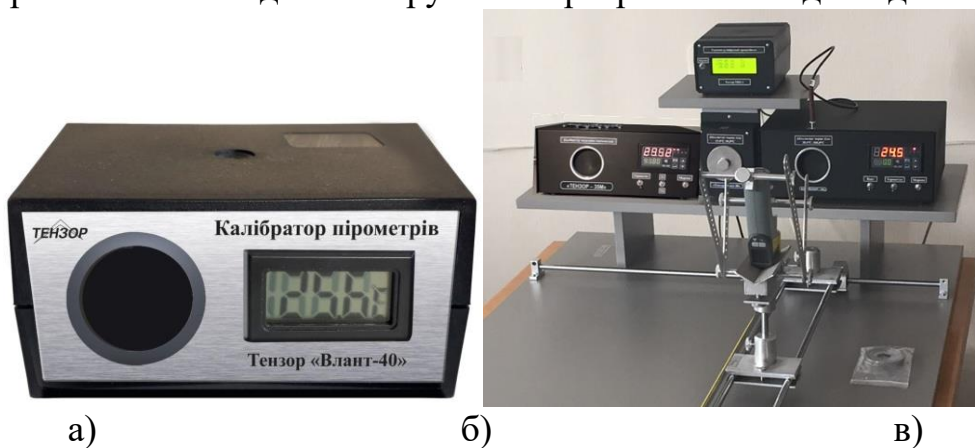


Рисунок 3 АЧТ а) медичного та б) промислового призначення

Таблиця 2 Метрологічні та технічні характеристики калібраторів

Характеристика	«ТЕНЗОР-Влант-35»	«ТЕНЗОР-Влант-39»	«ТЕНЗОР-Влант-40»
Діапазон температур	від 00,00 до 99,99 °С	від мінус 10 °С до 300 °С;	від 35,0 до 42,0 °С
Абсолютна похибка відтворення температур	у діапазоні 35 - 42 °С $\pm 0,05$ °С у іншому $\pm 0,5$ °С	не більше $\pm (0,5 + 0,0033 \times  t_{\text{пов}} )$ °С.	у діапазоні 35 - 42 °С $\pm 0,1$ °С
СКВ стабілізації температур за 1 хв.	$\pm 0,03$ °С	не більше $\pm 0,2$ °С.	$\pm 0,05$ °С
Коефіцієнт $\epsilon$ робочої поверхні не менше	0,95	не менше 0,95	0,96
Розмір поверхні, що випромінює, діаметр	50 мм	54 мм, 57 мм	30 мм

Була визначені основні джерела невизначеності вимірювання під час калібрування. Найбільший вплив на першому етапі мала суб'єктивна невизначеність, обумовлена позиціонуванням пірометра відносно оптичної вісі робочого еталона. Застосування спеціального кріплення дозволило зменшити цю складову майже в п'ять разів. Після такого корегування процедури калібрування

основними складовими стали невизначеність робочого еталона, стабільність температури і відповідно повторюваність, та стабільність температури навколишнього середовища для температур до 50 °С. Також на невизначеність впливає точність відстані до поверхні випромінювача АЧТ, оскільки калібрування проводиться для різних фокусних відстаней і чим більша відстань тим більшою є ця складова невизначеності. За результатами валідації методики калібрування було встановлено, що мінімальна розширена невизначеність для промислових пірометрів склала 0,68 °С для температур в діапазоні (50 – 150) °С, а для медичних пірометрів – 0,12 °С. Калібрування тепловізорів проводилося за такою ж процедурою. За результатами валідації методики для тепловізорів мінімальна розширена невизначеність склала 1,5 °С в діапазоні (10 – 200) °С.

## **ВИСНОВКИ**

Аналіз сфер застосування, нормативних документів з метрології та стандартизації, вимог до точності пірометрів та тепловізорів дозволив сформулювати вимоги до процедури калібрування та характеристик застосовуваних робочих еталонів. Основними факторами стали точність вимірювання температури, показник візурування та коефіцієнт випромінювання. Обрані робочі еталони – прилади на основі абсолютно чорних тіл та розроблено методику калібрування та проведено її валідацію. За результатами валідації методики було визнано придатною до застосування з мінімальною розширеною невизначеністю для промислових пірометрів – 0,68 °С, для медичних – 0,12 °С.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» № 1314-VII. Редакція від 01.01.2022 р.
- [2] Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці» від 4 червня 2015 р. № 374.
- [3] Постанова Кабінету Міністрів України від 13.01.2016 р. № 94 «Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки»
- [4] Постанова Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 р. № 163 «Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки» з усіма змінами.
- [5] Постановою КМУ від 10.07.2019 р. № 598 «Про внесення змін до Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки»
- [6] Таблиця коефіцієнтів емісії (випромінювання). URL: [https://pragmatic.com.ua/tablica\\_koefficientov\\_ehmissii\\_izluchenija](https://pragmatic.com.ua/tablica_koefficientov_ehmissii_izluchenija) (дата звернення: 01.12.2023).

*Науковий керівник - д.т.н., доцент Єременко В.С.*

**УДК 006.91**

*О.О. Гапончук, студент гр. ПІ-з21мп, д.т.н., доц. Єременко В.С.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **РЕГЛОСКОП ЯК ОБ'ЄКТ КАЛІБРУВАННЯ**

**Анотація.** Розглянуті питання калібрування реглоскопів, методи та засоби калібрування. Показано калібрування каналу вимірювання сили світла та каналу кута фар. Проаналізовані вимоги до точності реглоскопів та засобів їх калібрування. Ідентифіковано джерела невизначеності під час калібрування, показано рішення для роботи сучасних калібрувальних лабораторій.

**Ключові слова:** реглоскоп, колісні транспортні засоби, калібрування, невизначеність.

### **ВСТУП**

Реглоскоп – це оптичний прилад для перевірки та регулювання світла фар автомобілів. Він використовується для визначення відповідності світлового пучка та кута нахилу фар колісних транспортних засобів вимогам нормативних документів, таких як ДСТУ 3649:2010 [1]. Реглоскоп є важливим інструментом для забезпечення безпеки руху на дорозі. Він дозволяє швидко і точно перевірити відповідність світлового пучка фар вимогам нормативних документів.

### **МЕТА**

Реглоскопи не входять до переліку законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки [2], [3], що підлягають періодичній повірці. У свою чергу такі прилади застосовуються під час сертифікаційних випробувань колісних транспортних засобів, які проводять акредитовані органи оцінки відповідності за ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019 «Оцінка відповідності. Вимоги до органів з сертифікації продукції, процесів та послуг». Відповідно до вимог цього стандарту передбачене калібрування таких приладів.

Отже, метою цієї роботи є:

- аналіз методик випробування колісних транспортних засобів,
- визначення вимог до точності реглоскопів, та відповідної точності робочих еталонів, які застосовуються під час калібрування,
- визначення основних складових невизначеності вимірювання під час калібрування,
- розробка методики калібрування реглоскопів.

### **ОСНОВНА ЧАСТИНА**

ДСТУ 3649:2010 п.6.1 [1] визначено основні параметри освітлювальних приладів – це сила світла та кут нахилу променів фар. На практиці, під час сертифікації колісних транспортних засобів, використовуються або реглоскоп, як універсальний прилад, або фотометр, лінійка та спеціально накреслений шаблон на вертикальній поверхні на відстані 5м від фар (Рис. 1). Другий варіант не є зручним, оскільки вимагає наявності такого приміщення. Найчастіше використовуються реглоскопи, які розташовуються поблизу і навпроти фари, на відстані 15-30 см. Вимоги до точності вимірювання параметрів освітлювальних приладів визначаються в наказі Міністерства інфраструктури України №106 [4]. Відповідно до цього документа границя допустимої похибки вимірювання сили світла фар складає не більше  $\pm 15\%$ , вимірювання кута –  $\pm 8\text{мм}/5\text{м}$  ( $\pm 0,16\%$ ).

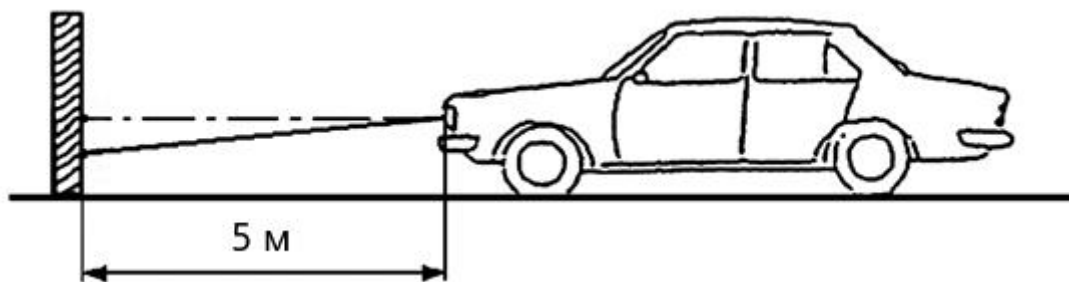


Рисунок 1. Кут нахилу фар та розташування КТЗ під час контролювання

На ринку присутня значна кількість виробників реглоскопів – Bosch, МАНА, Tespolux (Рис. 2).



Рисунок 2. Реглоскопи а) Bosch, б) МАНА в) Tespolux

Оптична система реглоскопа складається з лінзи, що фокусує світло фари на екрані. На екрані можна побачити форму світлового пучка фари, а також його положення відносно оптичної вісі автомобіля.

Вимірювальний блок реглоскопа складається з фотодатчика, який визначає положення світлового пучка фари та безпосередньо застосовується для вимірювання сили світла. Позиція екрана за вертикаллю може регулюватися спеціальним лімбом, відкаліброваним в градусах або відсотках відхилення світлового пучка фари автомобіля.

Аналіз технічної документації присутніх на ринку реглоскопів та нормативної документації з метрології показав, що відсутні стандартизовані методики калібрування. Отже, калібрувальна лабораторія має розробити таку методику самостійно. Вибір робочих еталонів для калібрування має враховувати значення метрологічних характеристик реглоскопів (Табл. 1), як об'єктів калібрування.

Таблиця 1 Метрологічні характеристики реглоскопів

Виробник	CAP2600WS-WIGA	Technolux AltairCombi	Bosch MLD9	Maha LITE 3
Країна	Франція	Італія	Німеччина	Німеччина
Вид фар	Галогенові, ксенонні, світлодіодні, матричні	Галогенові, ксенонні, світлодіодні,	Галогенові, ксенонні, світлодіодні,	Галогенові, ксенонні, світлодіодні,
Відстань до фари	10...30 см.	10...25 см.	10...30 см.	10...30 см.
Діапазон вимірювання куту нахилу фар, %	±6	0 – 4	0 – 4	0 – 5
Точність вимірювання куту нахилу фар,	±0,2 %	5'	5'	5'
Діапазон вимірювання інтенсивності світла, Кд (Лк x 25м)	0 – 125000 (0 – 200)	0 – 125000 (0 – 200)	0 – 150000 (0 – 240)	0 – 125000 (0 – 200)
Похибка вимірювання інтенсивності світла, %	5	5	5	5

Як видно з Табл. 1 робочі еталони мають забезпечити похибку (розширену невизначеність) вимірювання сили світла не гірше (1,5 – 2)%, а кута не гірше 1,5 кут.хв.

Для калібрування можливо застосувати два методи:

1. Окремо калібрується оптична система за допомогою каліброваного оптичного джерела або оптичного джерела та каліброваного фотометра та окремо вимірювач кута за допомогою теодоліта або тахеометра з лазерним вказівником.
2. Застосування спеціального калібрувального пристрою від виробника реглоскопа.

Перший метод є універсальним, але досить складним, враховуючи наявну відмінність в конструкціях реглоскопів та різну відстань до фар, за якої потрібно проводити вимірювання і відповідно калібрування. Другий метод є менш універсальним, оскільки такі прилади є специфічними і налаштованими для реглоскопа конкретного виробника і для інших можуть не підходити, особливо для параметра кут. Але другий метод є простішим у застосуванні, оскільки застосовується один робочий еталон. Приклад такого пристрою наведено на Рис. 3 [5]. Для застосування було обрано перший метод з огляду на його універсальність. У якості робочих еталонів були обрані:

- для визначення кута нахилу для контролю світла фар – електронний тахеометр Trimble 3305 DR або подібний.
- для визначення параметрів вимірювання сили світла – джерело оптичного випромінювання з лінзово-відбивною системою ОА 1 виробник ННЦ "Інститут метрології".



Рисунок 3 Калібрувальний пристрій для реглоскопа фірми Technolux

Результати обчислення невизначеності показали, що основний внесок формують: невизначеність робочих еталонів та повторюваність. Фактичне значення невизначеності залежить від діапазону вимірювань і складало:

- для кута нахилу для контролю світла фар – 0,015 кут.хвилин.
- для сили світла – (0,12 – 0,18)%.

## ВИСНОВКИ

За результатами аналізу методів вимірювання параметрів освітлювальних приладів колісних транспортних засобів визначено два основні параметри: сила світла та кут нахилу променів фар. Розроблено методикку калібрування, встановлено основні джерела невизначеності, такі як невизначеність застосованих робочих еталонів та повторюваність, яка пов'язана зі стабільністю джерела світла. У якості робочих еталонів пропонується використовувати калібровані джерела світла та тахеометр.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. Чинний від 2011-07-01. Вид. офіц. Київ : ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2011. 28 с.
- [2] Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» № 1314-VII. Редакція від 01.01.2022 р.
- [3] Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці» від 4 червня 2015 р. № 374.
- [4] Наказ Міністерства інфраструктури України «Про затвердження Технологічних вимог до засобів перевірки технічного стану, обслуговування і ремонту колісного транспортного засобу» від 15.02.2012р. № 106.
- [5] Technolux - Calibratore. Technolux. URL: <https://www.technolux-italia.it/products/prolux/calibratore.php> (date of access: 01.12.2023).

*Науковий керівник - д.т.н., доцент Єременко В.С.*

## УДК 006.91

В.Д. Демчук, студент гр. ПІ-з21мп, к.т.н., доц. Мокійчук В.М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### КАЛІБРУВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ СТЕНДІВ

**Анотація.** Розглянуті питання калібрування гальмівних стендів, методи та засоби калібрування. Показано динамометричний та гравіметричний методи калібрування. Ідентифіковано джерела невизначеності під час калібрування, показано ефективні рішення для оптимізації роботи сучасних калібрувальних лабораторій.

**Ключові слова:** калібрування, невизначеність, гальмівний стенд, колісні транспортні засоби.

#### ВСТУП

Стенд для випробувань гальмівної системи автомобіля (гальмівний стенд) – це спеціалізоване обладнання, призначене для перевірки ефективності та працездатності гальм колісних транспортних засобів відповідно вимогам нормативних документів, таких як ДСТУ 3649:2010. Цей стенд дозволяє проводити різноманітні тести, які оцінюють роботу гальмівних механізмів автомобіля в різних умовах.

#### МЕТА

Гальмівні стенди не входять до переліку законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки [1], [2], що підлягають періодичній повірці, але передбачено їх калібрування, оскільки такі стенди застосовуються під час сертифікаційних випробувань колісних транспортних засобів, які проводять акредитовані за ДСТУ EN ISO/IEC 17065:2019 «Оцінка відповідності. Вимоги до органів з сертифікації продукції, процесів та послуг» органи.

Отже, метою цієї роботи є:

- аналіз методик випробування колісних транспортних засобів,
- визначення основних складових невизначеності під час вимірювання,
- розробка методики калібрування на прикладі роликового стенда Hofmann Brake Tester Truck N 16t / 18t, МАНА MBT 1000 SERIES,
- пошук оптимального рішення за критерієм час/кількість задіяного устаткування.

#### ОСНОВНА ЧАСТИНА

ДСТУ 3649:2010 п.6.4 [3] як основний параметр робочої гальмівної системи колісних транспортних засобів розглядає гальмівне зусилля або гальмівний шлях. На практиці, під час сертифікації колісних транспортних засобів, використовуються роликові гальмівні стенди, які вимірюють саме величину гальмівного зусилля (загальна питома гальмівна сила). Вимоги до роликових стендів визначаються в ДСТУ 3333-96 або наказі Міністерства інфраструктури України №106 [4]. Відповідно до цих документів границя допустимої похибки вимірювання сили складає не більше 3%.

На ринку присутня значна кількість виробників гальмівних стендів – Bosch, МАНА, Hofmann, які мають різну конструкцію та передбачають різні методи калібрування. Аналіз технічної документації присутніх на ринку гальмівних стендів показав, що для їх калібрування можна застосовувати два методи –

динамометричний та гравіметричний. Динамометричний метод полягає в навантаженні сенсора вимірювання гальмівного зусилля стенда за допомогою спеціального пресу (наприклад, рис. 1) з приєднаним до нього динамометром. Другий метод – гравіметричний, полягає в застосуванні спеціального навантажувального важільного пристрою та гирь (рис. 2).

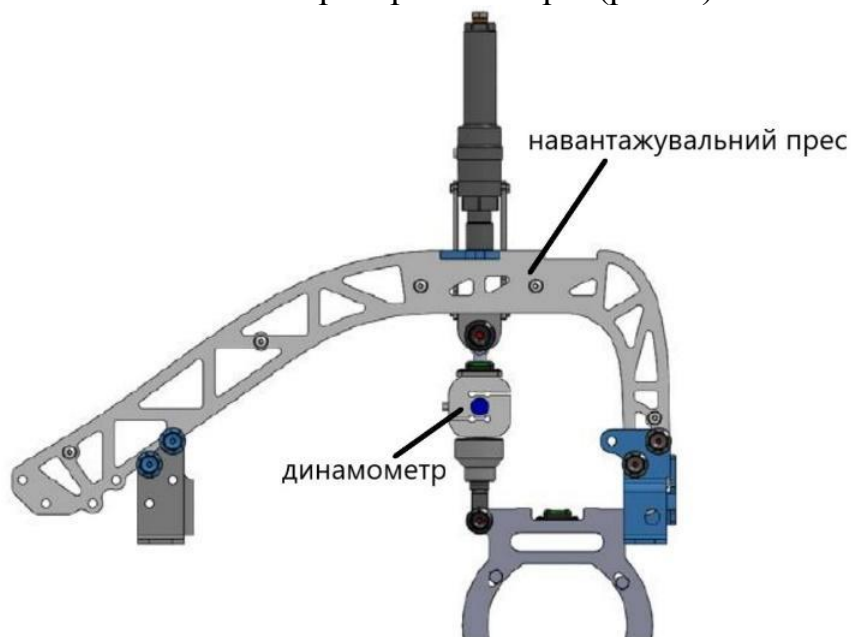


Рисунок 1. Пристрій для калібрування динамометричним методом

Потрібно відмітити, що пристрої як для першого, так і другого методів, як правило, не є універсальними, оскільки система кріплення підходить лише до конкретної модифікації гальмівного стенда.



Рисунок 2. Пристрій для калібрування гравіметричним методом

Для динамометричного методу для кожного типу стендів виробник вказує специфічний коефіцієнт пропорційності між значенням на динамометрі навантажувального пристрою та значенням, яке відображається на індикаторі гальмівного стенду. Наприклад, на рис.3 наведено інформацію для стендів Bosch [5] (рис.3а) та МАНА (рис.3б) [6].



Type	F <sub>1</sub> displayed in Bnet Tool	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	F <sub>2</sub> displayed on Dynamometer
BSA42xx	7500 N	102.5 mm	130 mm	5914 N
BSA43xx	7500 N	102.5 mm	130 mm	5914 N
BSA44xx	12000 N	102.5 mm	128 mm	9610 N

Tab. 12: Forces and lever travel on calibration

! The force F<sub>1</sub> displayed in the Bnet Tool or on the analog display of the brake tester corresponds to the test load F<sub>2</sub> displayed on the Dynamometer.

a)

**MJV II Calibration Forces**

Calculation formula:  $F_{Sensor} = F_{Brake} * \frac{d}{2 * l} * i * 1000$

Roller diameters are nominal values. Use actual measurement of roller diameter for calibration!

Brake tester	l (Lever arm) mm	i (Transmission ratio)	d (Roller Ø) mm	Sensor force				
				N				
MBT 2000	100,0	1,00	204,0	2040	4080	6120	8160	N
			Brake force [kN]	2,00	4,00	6,00	8,00	kN

б)

Рисунок 3. Інформація щодо гальмівних стендів

Подібна специфіка має бути врахована під час калібрування гравіметричним методом, оскільки зусилля стенда на сенсор стенда, яке формується навантажувальним пристроєм, залежить від довжини важеля та маси гирь. Наприклад, для стендів Hofmann [7] дійсні значення зусилля наведено в Табл.1.

Таблиця 1. Формування значень гальмівного зусилля для стендів Hofmann

№	Маса гирь (еталонів)	Ефективна маса	Гальмівне зусилля
1	60 кг	1037,5 кг	30 кН
2	40 кг	691,66 кг	20 кН
3	30 кг	518,75 кг	15 кН
4	20 кг	345,83 кг	10 кН
5	10 кг	172,92 кг	5 кН

За результатами аналізу вимог щодо точності [4] встановлено, що для динамометричного методу достатньо застосовувати динамометр зі значенням розширеної невизначеності не гірше  $U=0,5\%$ , а для гравіметричного методу можна застосовувати гирі номіналів від 1 кг до 20 кг класу не гірше M1.

Основні джерела невизначеності вимірювання під час калібрування наведено на рис.4.

Результати обчислення невизначеності показали, що основний внесок формують: невизначеність робочих еталонів та повторюваність. Фактичне значення невизначеності залежить від діапазону вимірювань гальмівного стенда і складало від  $U=0,6\%$  для стендів призначених для колісних транспортних засобів, масою менше 3,5т і до  $U=1\%$  для колісних транспортних засобів, масою для 20т.

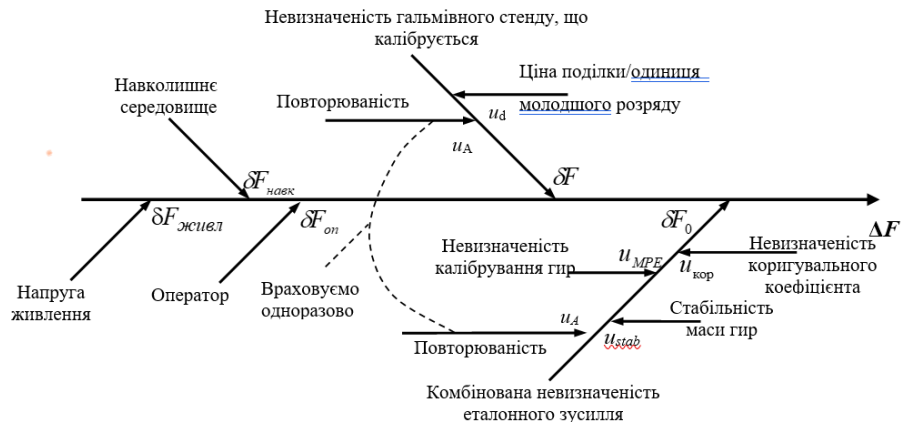


Рисунок 4. Складові невизначеності калібрування гальмівних стендів по гальмівному зусиллю

## ВИСНОВКИ

За результатами аналізу методів вимірювання гальмівного зусилля визначено два основні методи калібрування гальмівних стендів, із застосування або динамометра, або гирь. Розроблено методику калібрування, проаналізовано основні джерела невизначеності. У якості робочих еталонів пропонується використовувати фірмові навантажувальні пристрої (з огляду на різницю в конструкції роликів гальмівних стендів різних виробників), динамометри відповідних діапазонів вимірювання сили з розширеною невизначеністю не гірше  $U=0,5\%$  або гирі класу точності не гірше M1.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» № 1314-VII. Редакція від 01.01.2022 р.
- [2] Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці» від 4 червня 2015 р. № 374.
- [3] ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. Чинний від 2011-07-01. Вид. офіц. Київ : ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2011. 28 с.
- [4] Наказ Міністерства інфраструктури України «Про затвердження Технологічних вимог до засобів перевірки технічного стану, обслуговування і ремонту колісного транспортного засобу» від 15.02.2012р. № 106.
- [5] BOSCH. BSA/SDL. Service Manual. Brake tester and test lanes BSA/ SDL with 150 KB bus technology for passenger vehicles, transporters and light trucks.
- [6] МАНА MBT-SERIES Calibration and Adjusting Device for Roller Brake Testers. BA020001\_033-en.
- [7] HOFMANN. Стенд повірки гальм Safelane truck-SC WINDOWS. Настанова користувача. Креслення пристрою для калібрування No. 586 50 011.

*Науковий керівник - к.т.н., доцент Мокійчук В.М.*

## УДК 006.91-531.7

*А.В. Зарудна, студентка гр. ПІ-з21мп, к.т.н., доц. Мокійчук В.М.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **КАЛІБРУВАННЯ РОБОЧИХ ЕТАЛОНІВ ДЛЯ ПОВІРКИ ЕНЦЕФАЛОГРАФІВ**

**Анотація.** Розглянуті питання калібрування робочих еталонів для повірки енцефалографів. Проведено аналіз принципу дії енцефалографів, типів сигналів, які вони реєструють. Розглянуто вимоги до точності енцефалографів та робочих еталонів для їх повірки. Обрано робочі еталони для калібрування, проведено валідацію методики калібрування, оцінено невизначеність під час калібрування.

**Ключові слова:** енцефалограф, калібрування, повірка, валідація, невизначеність.

### **ВСТУП**

Енцефалограф – це медичний прилад, який використовується для реєстрації електричної активності мозку. Електрична активність мозку виникає внаслідок взаємодії нейронів, і її можна записати за допомогою електродів, які накладаються на шкіру голови. Це важливі інструменти для діагностики та дослідження захворювань мозку. Вони також використовуються для дослідження мозкової активності в нормі та при різних станах.

Енцефалографи використовуються для діагностики та дослідження захворювань мозку. Вони також використовуються для дослідження мозкової активності в нормі та при різних станах, таких як сон.

Існує два основних види сигналів енцефалографа:

- Потенціали дії - короткочасні електричні імпульси, що генеруються нейронами при їх активації.
- Електроенцефалографічні фонові ритми - коливання напруги, що виникають в мозку в стані спокою.

Енцефалографи належать до сфери законодавчо регульованої метрології відповідно до [1] стаття 3 частина 1. Забезпечення захисту життя та охорони здоров'я громадян.

Відповідно до [2] передбачена категорія 34. Енцефалографи. На повірку відповідно до [3] передбачено від 4 до 7,8 годин.

Характеристики робочих еталонів визначено в джерелі [4].

### **МЕТА**

Метою цієї роботи є:

- аналіз методик та засобів (робочі еталони та допоміжне обладнання) повірки енцефалографів,
- визначення основних складових невизначеності під час вимірювання,
- розробка методики калібрування робочих еталонів для повірки на прикладі генератора для повірки ДІАТЕСТ-4 [5] та її валідація.

### **ОСНОВНА ЧАСТИНА**

Енцефалограф з погляду вимірювання можна розглядати як аналог осцилографа. Фактично відбувається реєстрація електричних сигналів в часі. Особливістю є те, що енцефалограф є багатоканальним приладом. Електроенцефалограф зчитує з поверхні голови електричні сигнали та записує їх на папір або виводить на екран монітора у вигляді електроенцефалограми, яка

потім вивчається та розшифровується фахівцем з метою встановлення діагнозу. Приклад накладання електродів наведено на Рис. 1.

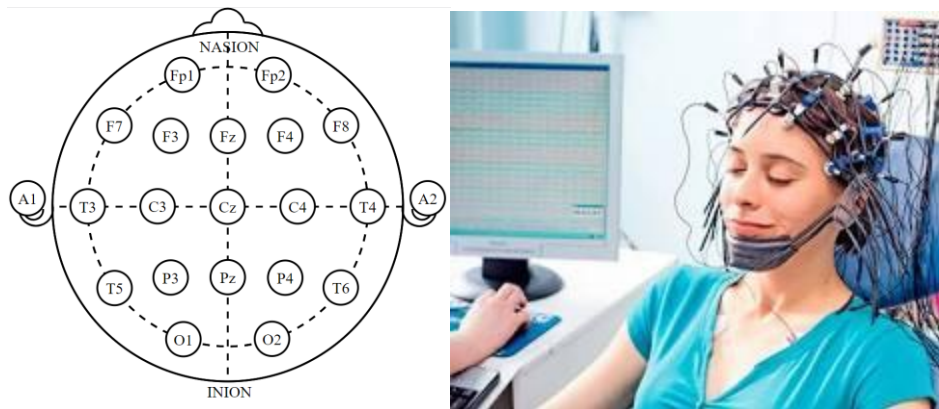


Рисунок 1 Схема накладання електродів ЕЕГ

Сигнали, які має реєструвати енцефалограф мають досить низьку амплітуду і частоту. Розрізняють наступні сигнали:

- Альфа-ритм ( $\alpha$ -ритм) – ритм з частотою 8 – 13 Гц та амплітудою до 100 мкВ
- Бета-ритм ( $\beta$ -ритм) – ритм з частотою 14 – 40 Гц і амплітудою до 15 мкВ розрізняють два діапазо- ни  $\beta$ -ритму:  $\beta_1$  з частотою 14 – 18 Гц і  $\beta_2$  з частотою 18 – 40 Гц. Звичайно  $\beta$ -ритм виражений достатньо слабо (3-7 мкВ) і може маскуватися шумами ЕМГ.
- Повільні ритми (дельта-, тета- ( $\delta$ -ритм,  $\theta$ -ритм) – тета-ритм з частотою 4-6 Гц і дельта-ритм з частотою 0,5 – 3 Гц мають амплітуду 40 – 300 мкВ і в нормальному стані характерні для деяких стадій сну.

Відповідно зазначеним діапазонам вимірюваних величин енцефалографічних сигналів в ДСТУ ОІМЛ R 89:2013 [4] наведено перелік робочих еталонів, які застосовуються під час повірки, основні наведено в Табл. 1.

Таблиця 1 – Засоби вимірювальної техніки, які використовують для повірки

Генератор синусоїдного сигналу	Діапазон частот від 0,01 Гц до 100 Гц Максимальна похибка встановлення частоти у межах $\pm 1\%$ Діапазон напруги від 10 мВ до 10 В (середньоквадратичне значення) Максимальна похибка встановлення напруги у межах $\pm 1\%$ Симетричний вихід
Генератор прямокутних імпульсів	Діапазон частот від 0,01 Гц до 1000 Гц Максимальна похибка встановлення частоти у межах $\pm 1\%$ Діапазон напруги від 1 мВ до 10 В Максимальна похибка встановлення напруги в межах $\pm 5\%$ Симетричний вихід
Подільник напруги	Коефіцієнт ділення 10 ( $R_1 = 100 \text{ кОм} \pm 1\%$ ; $R_2 = 10 \text{ Ом} \pm 1\%$ ; Максимальна похибка коефіцієнта ділення у межах $\pm 2\%$ )
Джерело напруги постійного струму	Напруга $1,5 \text{ В} \pm 5\%$

На практиці енцефалографи повіряють за місцем експлуатації, тому застосовують спеціальні функціональні генератори, наприклад ДІАТЕСТ (Рис. 2).



Рисунок 2 Генератори для повірки енцефалографа

Генератор має бути відкалібровано, для цього були підібрані робочі еталони та допоміжні засоби відповідної точності, наведені в Табл. 2.

Таблиця 2 – Робочі еталони, які використовують для калібрування засобів повірки

Частотомір ЧЗ-85/5	Максимальна похибка вимірювання частоти не більше 10-6 Діапазон напруги від 1 В до 10 В (середньоквадратичне значення)
Підсилювач вимірювальний У7-1	Діапазон частот від 0,001 Гц до 1000 Гц Діапазон підсилення напруги від 10 – 80 дБ
Мультиметр цифровий прецензійний модель 8104	Максимальна похибка вимірювання напруги DC та AC 0,001 – 0,01% Максимальна похибка вимірювання опору 0,01%
Осцилограф цифровий PeakTech® 1356	Для відображення сигналів та вимірювання параметрів нестандартних сигналів.



Рисунок 3 Спеціальний випробувальний сигнал для повірки енцефалографів

Оскільки під час повірки генератор має формувати не лише стандартні сигнали – синус, трикутник та меандр, а і сигнали спеціальної форми (Рис. 3), до складу калібрувальних робочих еталонів уведено осцилограф. Також передбачено омметр для калібрування спеціального дільника напруги.

Також, оскільки на виході генератора сигнали мають досить малу амплітуду, до складу засобів калібрування уведено вимірювальний підсилювач, який застосовується для сигналів амплітудою від 1 до 100 мкВ.

Розроблено методику калібрування, яка містить три основних розділи, а саме: калібрування сигналів генератора за амплітудою, за частотою та калібрування дільника напруги. Калібрування проводиться для кожного з 24-х

каналів окремо, для всіх режимів частота-амплітуда-тип сигналу, всього більше ста комбінацій. Прискорити процес вимірювання дозволяє саме осцилограф з функцією вимірювання параметрів записаних сигналів. Попередньо осцилограф калібрується за вертикальною розгорткою за допомогою мультиметра 8104.

Основними джерелами невизначеності під час вимірювання визначено:

- точність робочих еталонів,
- вплив електромагнітних завад, оскільки сигнали мають невелику амплітуду, що збільшує середньоквадратичне відхилення повторюваності,
- стабільність напруги живлення генератора.

Для зменшення впливу електромагнітних завад було застосоване спеціальне екранування генератора та заземлення.

За результатами валідації методики калібрування було підтверджено можливість її застосування у всіх діапазонах амплітуд, частот та типів сигналів.

## ВИСНОВКИ

За результатами аналізу методи повірки [4] енцефалографів визначено три основні фізичні величини, які підлягають калібруванню, це напруга – змінна, амплітудне значення або розмах та постійна, частота або тривалість та електричний опір. Результати проведеної експериментально валідації методики для генератора Діатест показали, що мінімально досяжна розширена невизначеність вимірювання (відносна) під час калібрування склала: для напруги 0,01%, для частоти або тривалості 0,001% та для опору 0,01%. Методика визнана придатною до застосування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Редакція від 01.01.2022 р. № 1314-VII.
- [2] Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці» від 4 червня 2015 р. № 374.
- [3] Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України «Про затвердження Норм часу, необхідного для проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації» від 21.12.2015 № 1719, редакція від 14.04.2023.
- [4] ДСТУ ОІМЛ R 89:2013. Електроенцефалографи. Метрологічні характеристики. Методи та засоби повірки (OIML R 89:2013, IDT). Чинний від 2014-07-01. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку, 2014. 23 с.
- [5] Генератор ДИАТЕСТ-4 для первичной и периодической поверки электрокардиографов, электроэнцефалографов, реографов, миографов, каналов ЭКГ мониторов. Medlab.UA – продаж медицинского и лабораторного оборудования. URL: <https://medlab.ua/ru/generator-diatest-4/> (дата звернення: 15.10.2023). [0]

*Науковий керівник - к.т.н., доцент Мокійчук В.М.*

*О.О.Корнієць, студент гр. ПІ-31, к.т.н., ст.в. Морозова М.М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ПОШИРЕННЯ ГРИБКОВИХ ІНФЕКЦІЙ**

**Анотація.** Даний документ присвячений розробці автоматизованої системи для вимірювання вологості повітря з метою ефективного запобігання поширенню грибкових інфекцій.

**Ключові слова:** система вимірювання вологості, мікроконтролер Arduino, мікроконтролер ESP32.

### **ВСТУП**

У сучасному світі, де екологічні проблеми стають все більш актуальними, технології в області аналітичного та екологічного приладобудування стають необхідністю для забезпечення здорового середовища проживання. Однією з основних проблем є розповсюдження грибкових інфекцій у помешканнях, особливо у зоні підвищеної вологості повітря. У даній роботі розглядається автоматизована система для вимірювання вологості повітря, яка має на меті ефективно запобігання розповсюдженню грибкових інфекцій.

### **АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ**

Проблема поширення плісняви у будинках з підвищеною вологістю (більше 60%) є досить поширеною. Підвищена вологість в будинку може бути причиною появи цвілі, яка негативно впливає на здоров'я людини. Ця ситуація особливо актуальна для будинків з низьким фундаментом та тих, що перебувають у безпосередньому контакті з ґрунтом. Серед найбільш розповсюджених причин вологості у будинку можна виділити недостатню вентиляцію, порушений тепловий баланс у домі, затоплені підвальні приміщення, проблеми з герметичністю комунікацій будинку, а також звичайні побутові впливи, такі як приготування їжі чи гігієнічні процедури без використання витяжної вентиляції. Щоб подолати причини надмірної вологості, в першу чергу постає необхідність контролю за її величиною у будинку. [1]

Зазвичай, вологоміри - пристрої для вимірювання вологості повітря - не користуються популярністю. Це пов'язано в першу чергу з ціною на подібний прилад, що характеризується як вища середньої, а також із необхідністю самостійного регулярного проведення вимірювання параметра для отримання результату.

### **ОПИС СИСТЕМИ**

При розробці системи вимірювання вологості повітря, мінімальний набір компонентів має включати в себе:

- Мікроконтролер
- Датчик вологості
- Брідборд (основа, яка використовується для створення електронних схем)
- Провідники
- Блок живлення. [7]

Для реалізації системи, датчик вологості повинен бути підключений до

мікроконтролера за допомогою брідборда та провідників. Для цього один кінець резистора номіналом 5-10 кОм слід під'єднати до пін 5V мікроконтролера, а інший кінець до пін датчика вологості. Слід підключити пін датчика вологості до пін аналогового входу A0 мікроконтролера. Для отримання точніших результатів, слід використати два датчика вимірювання вологості. Далі, мікроконтролер під'єднується до живлення за допомогою USB-кабелю або блоку живлення 9 В. Наступним кроком є написання коду згідно певного алгоритму, для коректної роботи системи. Потім цей код повинен бути завантажений у мікроконтролер, що дозволяє зчитувати дані з датчика вологості та відображати їх на екрані ПК. Для цього можна використовувати середовище розробки відповідного мікроконтролера та бібліотеку DHT (сенсора температури та вологості).

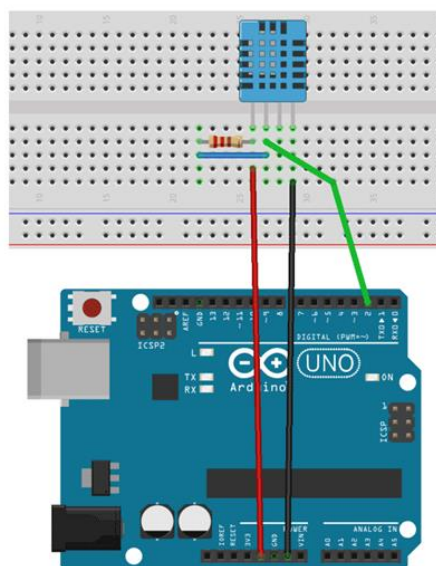


Рисунок 1. Макет системи вимірювання вологості повітря

## МІКРОКОНТРОЛЕРИ ARDUINO ТА ESP32

Основою для створення та реалізації даної системи є мікроконтролер, який за допомогою необхідних датчиків буде здійснювати безпосередній аналіз вологості повітря. Одними з найпоширеніших мікроконтролерів, підходящих для створення даної системи є мікроконтролери Arduino та ESP32. [2]

Мікроконтролер Arduino – це мікроконтролер з відкритим вихідним кодом, що складається з друкованої плати з центральним мікроконтролером та допоміжними компонентами. Arduino дозволяє легко підключати датчики та виконавчі пристрої через контакти вводу-виводу, в зв'язку з чим швидко набув світового успіху [4]. Зазвичай Arduino асоціюється з філософією фізичних обчислень як інструменту для швидкого створення прототипів і простої розробки систем. [5]





Рисунок 2. Мікроконтролер Arduino

Аналогом для розробки автоматизованої системи вимірювання вологості є система на основі мікроконтролера ESP32.

Мікроконтролер ESP32 - це мікроконтролер з Wi-Fi і Bluetooth 2,4 ГГц, розроблений за 40-нанометровою технологією TSMC з низьким енергоспоживанням. Він розроблений для досягнення найкращої потужності обчислень та радіочастотних характеристик, демонструючи міцність, універсальність і надійність у різноманітних додатках. [6]



Рисунок 3. Мікроконтролер ESP32

Задля реалізації системи з вимірювання вологості повітря, до мікроконтролера Arduino чи ESP32 слід підключити датчик DHT11. Цей датчик містить в собі елементи, які дозволяють вимірювати температуру та вологість повітря. Для підключення датчика до мікроконтролера рекомендується використовувати цифрові входи, такі як D2, D3, D4. [2]

Крім того, для реалізації системи важливим кроком є написання коду. Коли створюється програмне забезпечення для обробки даних від датчиків, тоді розширюються можливості системи. Це дозволяє опрацьовувати дані швидше і ефективніше. А також зменшується час, що витрачався на роботу з апаратними компонентами. Також важливо зазначити, що внесення змін у програмний код обох мікроконтролерів проводиться набагато легше, ніж внесення зміни до апаратної схеми. [3]

Серед переваг системи розробленої на основі Arduino можна виділити:

- *Відкритий код*, що дозволяє користувачам змінювати та вдосконалювати його функціональність.
- *Багатофункціональність*, адже Arduino має багато входів та виходів, що дозволяє використовувати його для різних проєктів.
- *Велика спільнота користувачів Arduino*, яка допомагає вирішувати різноманітні завдання та ділитися досвідом створення і розробки проєктів.

Серед переваг системи розробленої на основі ESP32 можна виділити:

- *Інтегровані контролери Wi-Fi і Bluetooth*, що дозволяє використовувати його для розробки різноманітних IoT-пристроїв. [2]

- *Низьке енергоспоживання*, що дозволяє використовувати його в батарейних пристроях.

## **ВИСНОВОК**

Система вимірювання вологості повітря здатна допомогти вирішити проблему підвищеної вологості в будинку, дозволяючи користувачу вимірювати рівень вологості повітря та контролювати його відповідно до встановлених норм. Це запобігає появі плісняви та поширенню грибкової інфекції, які несуть негативний вплив на здоров'я людини.

Проаналізувавши складові майбутньої системи, можна зробити висновок, що мікроконтролер Arduino має більше переваг для використання у розробці даної системи, порівняно з мікроконтролером ESP32. Дане рішення пов'язане з наявністю спільноти користувачів та більшого об'єму інформації про даний мікроконтролер. Це має сприяти реалізації успішної розробки системи вимірювання та контролю вологості.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Вологість повітря в умовах сучасного клімату. с.1, 2010
- [2] Darko Hercog, Tone Lerher. Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. p.2, 2023
- [3] Kimmo Karvinen, Tero Karvinen. Getting Started with sensors. p.33, 2014
- [4] Fabio Nilvetti, Marco De Simone. Test-rig for identification and control applications. pp. 9-12, 2013
- [5] Uğur Sarı, Hüseyin Miraç Pektaş. Algorithmic thinking development through physical computing activities with Arduino in stem education. Education and Information Technologies, pp. 1-22, 2022
- [6] ESP32Series [Електронний ресурс]: Espressif Systems Copyright. Режим доступу: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_data\\_sheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_data_sheet_en.pdf)
- [7] Blog Arduino [Електронний ресурс]: Humidify the air around you with home automation. Режим доступу: <https://blog.arduino.cc/2022/11/09/humidify-the-air-around-you-with-home-automation/>

УДК 621.3.087

Д.С. Куліков, студент гр.ПІ-31мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ІНТЕРНЕТ-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНИХ ТЕХНОЛОГІЙ JAVA

**Анотація.** В даній статті описано використання технологій програмування Java для систем збору експериментальних даних. Для цього використовується віртуальна машина Java (JVM), що дозволяє коду працювати в різних системах без необхідності модифікації. Для передачі даних використовується хмарний сервіс HiveMQ Cloud, який надає можливість підключення до 100 пристроїв безкоштовно. Наведена структура коду, в якому HiveMqSender.java ініціалізує та запускає застосунок, а HiveMqManager.java містить код для підключення до HiveMQ Cloud і публікації повідомлень. Для розробки графічного інтерфейсу використана бібліотека JavaFX, яка спрощує створення користувацького інтерфейсу. Визначаються також переваги від використання HiveMQ Cloud для забезпечення з'єднання та обміну даними з пристроями.

**Ключові слова:** Java, віртуальна машина Java (JVM), HiveMQ Cloud, Raspberry Pi, JavaFX, графічний інтерфейс, GPIO, датчики, візуалізація даних.

### ВСТУП

За останні роки збільшилася кількість несумісних комп'ютерних апаратних архітектур з несумісними операційними системами та графічними інтерфейсами користувача. Створення розподілених клієнт-серверних систем збору експериментальних даних стикається із глобальною проблемою спільного використання таких засобів. Розвиток інтернету, всесвітньої павутини як складової частини інформаційно-вимірювальних систем призвели до нового рівня складності їх розробки. Наскрізне використання єдиної програмної технології для всіх ланок системи спрощує її розробку, відладку та тестування, дозволяє використати переваги технології для всіх її частин.

Технологія Java – це об'єктно-орієнтоване, платформи-незалежне, багатопотокове середовище програмування. Java використовується для «розумних» веб- та мережесервісів, що дозволяє надійно та безпечно нарощувати інформаційну структуру систем збору даних незалежно від платформи. Всі види систем можуть взаємодіяти одна з одною – починаючи зі смарт-карток і закінчуючи апаратними суперкомп'ютерами незалежно від платформи та системного програмного забезпечення. Програми переносяться на багато платформ. Вони не потребують модифікації під інші платформи: програмне забезпечення працюватиме без будь-яких змін у різних операційних середовищах та апаратних архітектурах [1].

### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі програмних технологій Java розроблена демонстраційна система збору кліматичних параметрів, що використовує датчик вологості й температури DHT22 та одноплатний комп'ютер Raspberry Pi. Серверне програмне забезпечення базується на хмарному сервісі HiveMQ Cloud з підтримкою протоколу MQTT. Графічний інтерфейс клієнтського програмного забезпечення реалізовано на основі бібліотеки JavaFX.

Датчик вологості й температури DHT22 призначений для вимірювання вологості і температури навколишнього середовища. Датчик має низьке енергоспоживання та невеликі розміри. Датчик вимірює відносну вологість

навколишнього середовища в діапазоні 0 – 100% та температуру від -40°C до +80°C (рис.1). Затримка передачі даних становить 2 секунди.

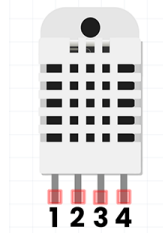


Рисунок 1. Датчик DHT22

Підключається датчик за допомогою 3 виводів (VCC, GND і OUT). Живлення підключається за допомогою контактів VCC (+5 В) і GND ("земля"). Через контакт OUT на цифровий порт мікроконтролерного пристрою послідовним двійковим кодом передаються дані від датчика. Для кодування логічних значень використовується різна тривалість імпульсів.

Raspberry Pi - це повноцінний мікрокомп'ютер, який має велику кількість ресурсів для обробки даних та виконання різноманітних завдань. Його можна використовувати для досить складних обчислень і обробки даних, пов'язаних із датчиком. Raspberry Pi має вбудований контролер Ethernet та може підключатися до бездротової мережі, що дозволяє легко надсилати дані від датчика на сервер або хмарний сервіс [2].

Використання Raspberry Pi як мікроконтролерного блоку для датчика DHT22 має свої переваги. Це забезпечує розширені можливості в порівнянні з більш простими мікроконтролерами. Raspberry Pi підтримує різні мови програмування, такі як Python, C++, Java і багато інших. Як основна технологія в розробленій системі використана мова Java.

Для під'єднання датчика до плати було використано лінії портів GPIO. Перший вивід датчика було приєднано до VCC (джерело живлення), другий вивід до DATA (дані), третій не під'єднаний, четвертий до GND.

Недостатня швидкодія програмного забезпечення на мові Java ускладнює вимірювання коротких часових інтервалів в реальному часі. Тому для отримання даних з основної Java-програми викликається скрипт Python.

```
Runtime rt = Runtime.getRuntime();  
Process p = rt.exec("python /home/pi/Desktop/dht.py");
```

Щоб зчитувати дані з датчика в скрипті Python була використана бібліотека Adafruit-DHT [3].

```
import Adafruit_DHT  
import requests  
import time  
import json  
DHT_SENSOR = Adafruit_DHT.DHT22  
DHT_PIN = 4  
while True:  
    humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(DHT_SENSOR,  
DHT_PIN)  
    if humidity is not None and temperature is not None:  
        print("Temp={0:0.1f}*C  
Humidity={1:0.1f}%".format(temperature, humidity))  
    else:  
        print("Failed to retrieve data from humidity sensor")
```

Вивід даних в консоль наведено на рис.2.

```
denis@raspberrypi:~/Desktop $ sudo python3 dht.py  
Temp=24.7°C Humidity=33.3%
```

Рисунок 2. Дані від датчика DHT22

Взаємодія з серверною частиною системи організована на основі протоколу MQTT. В якості брокеру MQTT використано хмарний сервіс HiveMQ Cloud. При цьому немає потреби в постійно працюючому користувачькому сервері, яким потрібно керувати самостійно. Ще одна суттєва перевага HiveMQ Cloud – безкоштовне обслуговування до 100 пристроїв.

На рис.3 наведено основний Java-клас HiveMqSender, де ініціалізуються складові програмного забезпечення системи.

```
1 public class HiveMqSender {  
2     // Logger helper provided by Pi4J  
3     private static Console console;  
4     // Sends data to HiveMQ Cloud  
5     private static HiveMqManager hiveMqManager;  
6     // Initializes the sensors and reads the values  
7     private static SensorManager sensorManager;  
8     public static void main(String[] args) {  
9         console = new Console();  
10        hiveMqManager = new HiveMqManager(console);  
11        sensorManager = new SensorManager(console, hiveMqManager);  
12        while (true) {  
13            try {  
14                Thread.sleep(500);  
15            } catch (InterruptedException e) {  
16                e.printStackTrace();  
17            }  
18        }  
19    }  
20 }
```

Рисунок 3. Основний клас HiveMqSender

В конструкторі Java-класу HiveMqManager виконується підключення до хмарного сервісу HiveMQ Cloud і запускається публікація повідомлень (рис.4).

Для створення клієнтського програмного забезпечення використано бібліотеку JavaFX – набір графічних і мультимедійних пакетів, який дозволяє розробникам проектувати, створювати, тестувати, налагоджувати і розгортати насичені клієнтські додатки, які узгоджено працюють на різних платформах. JavaFX дозволяє швидко створювати користувачький інтерфейс, використовуючи мову та інструменти Java. Інтерфейс можна стилізувати за допомогою синтаксису CSS, він дуже гнучкий, розширюваний і за необхідності дозволяє розробляти власні елементи.

```
1 public class HiveMqManager {
2     private static final String HIVEMQ_SERVER =
3         "ID_OF_YOUR_INSTANCE.s1.eu.hivemq.cloud";
4     private static final String HIVEMQ_USER = "YOUR_USERNAME";
5     private static final String HIVEMQ_PASSWORD = "YOUR_PASSWORD";
6     private static Console console;
7     private static Mqtt5AsyncClient client;
8     public HiveMqManager(Console console) {
9         this.console = console;
10        client = MqttClient.builder()
11            .useMqttVersion5()
12            .identifier("Java_" + UUID.randomUUID())
13            .serverHost(HIVEMQ_SERVER)
14            .serverPort(8883)
15            .sslWithDefaultConfig()
16            .buildAsync();
17        client.connectWith()
18            .simpleAuth()
19            .username(HIVEMQ_USER)
20            .password(HIVEMQ_PASSWORD.getBytes())
21            .applySimpleAuth()
22            .send()
23        .whenComplete((connAck, throwable) -> {
24            if (throwable != null) {
25                console.println("Could not connect to HiveMQ: " + throwable.getMessage());
26            }
27            else
28            {
29                console.println("Connected to HiveMQ: " + connAck.getReasonCode());
30            }
31        });
32    }
33 }
```

Рисунок 4. Підключення до HiveMQ Cloud і публікація повідомлень

## ВИСНОВКИ

Реалізація системи збору даних у вигляді багаторівневої мікроконтролерної структури на базі Java-технологій та спеціалізованого інтернет-протоколу MQTT дозволило забезпечити платформену незалежність програмного забезпечення, незалежність рівня обробки даних та інформаційного обміну від рівня отримання інформації та незалежність рівня користувачів від конкретних датчиків. Використання вбудованих мікроконтролерних засобів зменшило вартість віддаленого інтернет-моніторингу, масогабаритні показники та енергоспоживання системи в порівнянні з комп'ютерними архітектурами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Bogomazov, S., Povorozniuk, N. (2023). Implementation of Information and Measurement Systems at the Base of Specialized Internet Protocols. In: Advanced Information-Measuring Technologies and Systems I. Studies in Systems, Decision and Control, vol 439. Springer, Cham., pp.115-207.
- [2] Raspberry Pi Requirements for Development Host [Online]. Available: <https://doc.qt.io/QtForDeviceCreation/qtee-preparinghardware-raspberrypi.ht>. Accessed on: November 27, 2023.
- [3] Adafruit-DHT 1.4.0. [Online]. Available: <https://pypi.org/project/Adafruit-DHT>. Accessed on: June 1, 2023.

УДК 006.91(02)

В.В. Куліченко, студент гр. ПІ-21мп, д.т.н., проф. Володарський Є.Т.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ІНТЕГРАЦІЯ ОЦІНКИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ У ПОБУДОВУ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ: ПІДХІД НА ОСНОВІ ДАНИХ ТА АНАЛІЗУ

**Анотація.** Зосередимось на розробці алгоритму для інтеграції оцінки невизначеності вимірювань у процес побудови контрольних карт. Використовуючи методи аналізу даних та статистичні обчислення на основі Python, ми демонструємо, як невизначеність може впливати на встановлення контрольних меж та інтерпретацію даних.

**Ключові слова:** контрольні карти Шухарта, невизначеність вимірювань, статистичний контроль якості, системи контролю якості

### ВСТУП

У сучасному світі управління якістю та ефективності виробничих та бізнес-процесів, контрольні карти [1], є невід'ємним інструментом для моніторингу та підтримки стабільності та надійності цих процесів. Починаючи з розробки Уолтера Шухарта в 1920-х роках, контрольні карти еволюціонували в незамінні інструменти в області статистичного контролю якості, допомагаючи ідентифікувати та коригувати відхилення в процесах до того, як вони перетворяться на серйозні проблеми.

### МЕТА РОБОТИ

Метою цієї роботи є розробка алгоритму для інтеграції оцінки невизначеності вимірювань у побудову контрольних карт, з метою підвищення точності та надійності у виявленні змін в процесах.

### АЛГОРИТМ РОЗРОБКИ ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Для розробки алгоритму інтеграції оцінки невизначеності вимірювань у контрольні карти, ми можемо використовувати наступні кроки:

1. Збір Даних: Спочатку зберемо набір даних, який відображає вимірювання процесу, який ми хочемо контролювати.
2. Розрахунок Статистичних Параметрів: Визначимо середнє (mean) та стандартне відхилення (standard deviation) для наших даних.
3. Оцінка Невизначеності Вимірювання: Оцінимо невизначеність вимірювань. Це може бути зроблено шляхом аналізу повторних вимірювань або використанням відомих даних про точність вимірювального обладнання.
4. Коригування Контрольних Меж: Використовуючи оцінку невизначеності, скоригуємо контрольні межі. Наприклад, розширимо межі контролю, враховуючи невизначеність.
5. Аналіз Даних: Проаналізуємо оновлені контрольні карти, зосереджуючись на будь-яких точках даних, які перевищують скориговані контрольні межі.
6. Оцінка Впливу Невизначеності: Зробимо висновки про те, як невизначеність вплинула на інтерпретацію контрольних карт, порівнюючи результати з оригінальними межами.

На основі наших симульованих даних, ми отримали середнє значення

вимірювань 10.06 та стандартне відхилення 1.01. Ці параметри будемо використовувати для побудови базових контрольних карт.

Тепер перейдемо до оцінки невизначеності вимірювання. Для спрощення, припустимо, що невизначеність вимірювань в нашому випадку становить 0.05 (це може бути оцінка, заснована на характеристиках вимірювального обладнання або результаті аналізу повторних вимірювань). Цю невизначеність ми включимо у розрахунок контрольних меж.

Зазвичай контрольні межі встановлюються на рівні середнього  $\pm 3$  стандартних відхилень. Однак, враховуючи невизначеність, ми можемо скоригувати ці межі. Давайте розрахуємо скориговані контрольні межі та візуалізуємо контрольну карту з цими межами (Рис. 1)

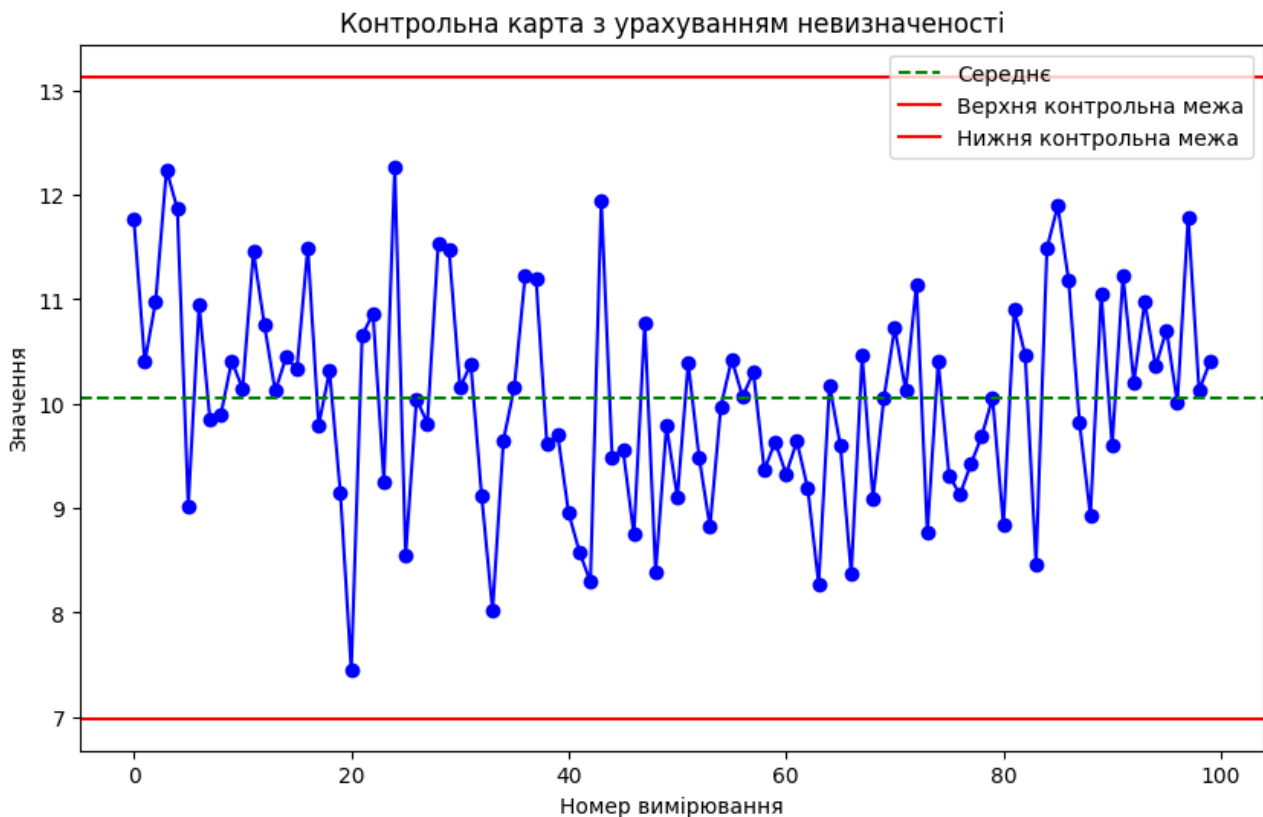


Рисунок 1. - Контрольна карта з урахуванням невизначеності вимірювань

На візуалізації контрольної карти ми можемо бачити, що скориговані контрольні межі становлять приблизно 13.13 (верхня межа) та 6.99 (нижня межа), враховуючи невизначеність вимірювання 0.05.

## ОЦІНКА ВПЛИВУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Тепер ми можемо оцінити, як невизначеність вимірювання впливає на інтерпретацію контрольних карт:

1. *Розширення Контрольних Меж:* Через додавання невизначеності, контрольні межі стали ширшими. Це означає, що менше точок даних будуть вважатися як сигнали про відхилення в процесі.
2. *Зниження Чутливості:* Розширення меж може знизити чутливість контрольних карт до невеликих змін у процесі. Це може бути



корисним для уникнення хибних тривог, але також може призвести до пропуску дрібних, але важливих відхилень.

3. *Поліпшення Надійності:* Врахування невизначеності може поліпшити надійність висновків, зроблених на основі контрольних карт, оскільки вони враховують реальні обмеження вимірювального процесу.

Використання такого підходу дозволяє більш точно відображати реальні умови виробничого процесу та підвищує ефективність використання контрольних карт для моніторингу та покращення якості

## **ВИСНОВОК**

У цій роботі ми продемонстрували важливість врахування невизначеності вимірювань у побудові контрольних карт, використовуючи Python для аналізу даних. Виявлено, що невизначеність збільшує контрольні межі, знижуючи ризик хибних тривог, але одночасно може зменшити чутливість до незначних відхилень у процесах. Це підкреслює необхідність збалансованого підходу до врахування невизначеностей у статистичному контролі якості.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] ISO 10012:2003 "Measurement management systems - Requirements for measurement processes and measuring equipment."
- [2] Є.Т. Володарський, Л.О. Кошева, І.О. Потоцький. *Методи калібрування засобів вимірювальної техніки в умовах експлуатації.*: Монографія. – Вінниця, 2022. – 160 стр.
- [3] ДСТУ ISO 8258-2001. *Контрольні карти Шухарта (ISO 8258:1991, IDT)*  
*Наук. керівник – д.т.н., проф. Володарський Є.Т.*

УДК 621.317.7.023

*Є.М. Куницький, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., доц. Самарцев Ю.М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **СИСТЕМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НАДМАЛИХ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ**

*Анотація.* У статті досліджено роботу систем вимірювання надмалих лінійних розмірів металевих виробів. Проведено аналіз роботи та зон застосовності систем. Запропоновано способи розширення зон застосовності використання вимірювальних систем.

**Ключові слова:** вимірювання, надмалі розміри, металеві вироби, зона застосовності.

### **ВСТУП**

Вже на початку дослідження було помічено вузьку зону застосовності більшості систем вимірювання надмалих лінійних розмірів металевих виробів. Ці системи, як правило, є громіздкими і важкими, що ускладнює їх використання в умовах обмеженого простору. Для досягнення мети з розширення зон застосовності був проведений аналіз умов роботи та зручності використання існуючих систем.

Після аналізу було вирішено розширити зону застосовності систем вимірювання надмалих лінійних розмірів металевих виробів за рахунок рознесення вимірювальних засобів та засобів обробки і відображення до різних частин системи з використанням безпроводних технологій обміну вимірювальною інформацією.

На основі проведеного аналізу запропоновано ряд заходів, зокрема:

- Використання безпроводних технологій передачі даних.
- Розробка програмного забезпечення для автоматизації процесу вимірювання.
- Здійснення обробки та відображення вимірювальної інформації на будь-який мобільний пристрій з операційною системою Android.

Перераховані вище заходи реалізовані в розроблених апаратних та програмних засобах

### **РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ**

Розроблений додаток, який може бути використаний на більшості Android пристроях – смартфонах або планшетах.

Додаток реалізує наступні функції:

- Керування конфігурацією первинного вимірювального перетворювача (ПВП) і процесом вимірювання.
- Обмін вимірювальною інформацією між мобільним пристроєм та апаратною частиною системи вимірювання (СВ).
- Автоматизація процесу обробки результатів вимірювання.

Взаємодія мобільного пристрою та СВ реалізована з використанням стандарту Bluetooth.

Bluetooth - низьковартісний радіоінтерфейс з низьким енергоспоживанням (близько 1 мВт). Дальність дії Bluetooth коливається в радіусі від 10 метрів до

100 метрів в залежності від потужності Bluetooth модуля. Для роботи Bluetooth використовується діапазон з центральною частотою 2,45 ГГц.

Радіоканал має пропускну здатність у 1 Мбіт/с, що забезпечує створення асиметричного каналу передачі даних на швидкостях до 723,3/57,6 Кбіт/с або повнодуплексного каналу на швидкості до 433,9 Кбіт/с.

Для передачі даних використовується протокол послідовного каналу UART. Перевага такого рішення – простота реалізації, низька вартість та надійність.

Перевагою UART інтерфейсу є внутрішня синхронізація процесу обміну байтами без необхідності використання додаткового тактового сигналу. Дана властивість пред'являє певні вимоги до передавача та приймача.

Передача даних виконується з заданою швидкістю для однакової синхронізації бітів, найбільш популярні швидкості : 4800, 9600, 19,2 кбіт/с, 57,6 кбіт/с та 115,2 кбіт/с.

Це вимагає узгодження швидкості передачі і формату пакетів даних, якими обмінюються сторони.

В системі використовується наступний формат пакетів даних для обміну інформацією:

	HEAD		MID	DATA	CRC
	START	LENGTH	OP Code	PARAMETER	CHKSUM
BYTE NO	0	1 ~ 2	3	4 ~ XX	Length + 3
SIZE (BYTE)	1	2	1	0 ~	1
VALUE	0xAA	1 ~	Command/Event	Command/Event parameter	Check sum
	SINC WORD	Check sum to be calculated			
		TARGET LENGTH			

Рис. 1 Формат пакетів даних послідовного протоколу

Стартовий байт – визначає початок пакету і містить байт синхронізації. Другий байт визначає довжину даних пакета. OP Code – код команди, яка визначає алгоритм обробки даних пакета. Data (Parameter) – дані пакета, які визначають інформацію для керування або обробки.

CRC(CHKSUM) – контрольна сума, яка перевіряється перед обробкою даних, щоб впевнитись що отриманий пакет даних саме той, що надісланий. На Рис. 2 наведений приклад пакету даних для команди керуванням ПВП.

	START	LENGTH(H)	LENGTH(L)	OP CODE	PARAMETER	CHKSUM
BYTE NO	0	1	2	3	4	5
VALUE	0xAA	0x00	0x02	0x01	0x00	0xFD

Рис. 2 Приклад вигляду пакету даних за протоколом UART.

## АЛГОРИТМ ОБРОБКИ КОМАНД І ОБМІН ДАНИМИ

Алгоритм виконання команди надсилання даних Send\_Transparent\_Data (0x3F). Ця команда використовується для надсилання даних службою ISSC\_TRANS\_TX (Рис.3). Дана команда виконується протягом успішно встановленого Bluetooth з'єднання між СВ та Android пристроєм.

<i>Connection_Handle:</i>		<i>Length: 1 Byte</i>
Value	Parameter Description	
0x00	Connection Handle	

<i>Transparent_Data:</i>		<i>Length: N Bytes</i>
Value	Parameter Description	
0xXX	Transparent_Data. Maximum length of transparent data is 1000 bytes	

**Return Parameters:**

<i>Status:</i>		<i>Length: 1 Byte</i>
Value	Parameter Description	
0x00	Command succeeded	
0x01 – 0xFF	Command failed. See listing of Error Codes.	

Рис. 3 Параметри команди 0x3F.

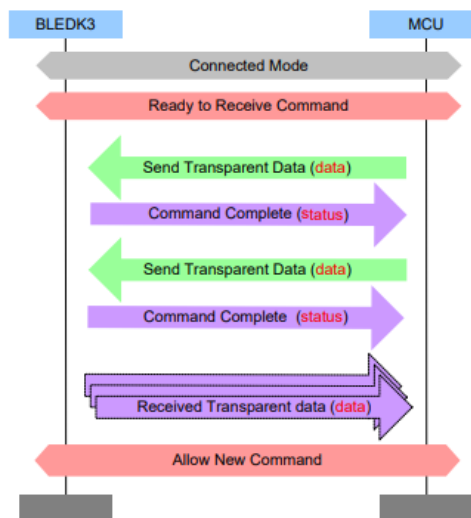


Рис. 4 Послідовність виконання алгоритму команди 0x3F.

Концептуальний вигляд алгоритму та схематичне зображення роботи системи приведений на Рис. 5. Натискання командної кнопки запускає процес надсилання відповідної команди через Bluetooth з'єднання, запускаючи певний алгоритм передачі даних. Потім за ідентичним але вже оберненим алгоритмом ПВП надсилає у відповідь на команду масив сирих даних з вимірювальною інформацією, яка обробляється мобільним додатком.

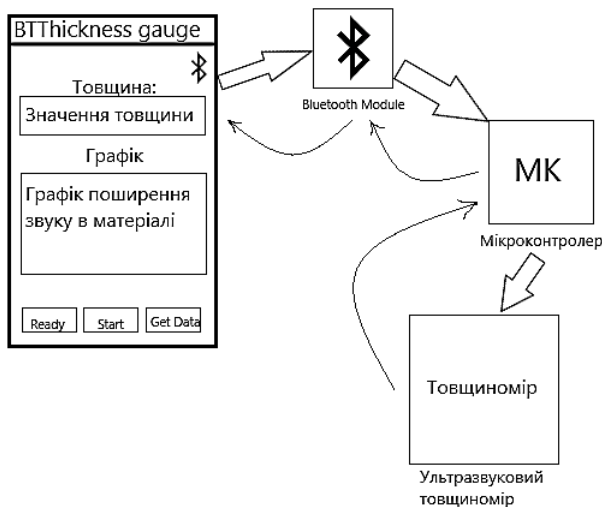


Рис. 5 Схематичне зображення роботи системи

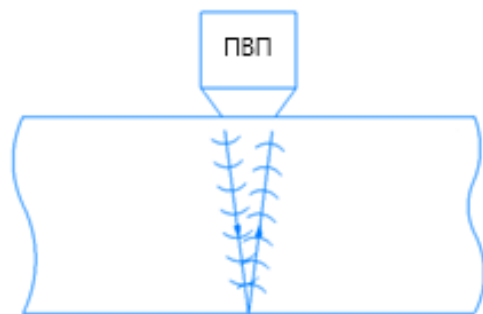


Рис. 6 Розташування ПВП

Ультразвукові товщиноміри визначають товщину, розраховуючи інтервал часу від збуджуючого імпульсу до імпульсу відгуку матеріалу, товщина якого визначається. Оскільки звукові хвилі відбиваються від кордонів між неоднорідними матеріалами, цей вимір зазвичай виконується з одного боку в режимі «луна / імпульс», як показано на Рис. 6.

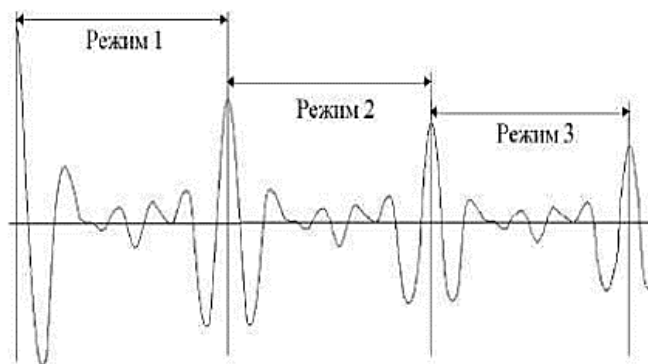


Рис. 7 Графік відображення ультразвукових хвиль.

Для розрахунку товщини в мобільному додатку використовуються формули:

Для розрахунку поздовжньої хвилі:

$$C_l = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3} \times 5G}{P}} \quad (1)$$

$$C_l = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{(1+\nu) \times (1-2\nu) \times \rho}} \quad (2)$$

Для поперекової хвилі:

$$C_t = \sqrt{\frac{G}{P}} \quad (3)$$

$$C_t = \sqrt{\frac{E}{2 \times (1+\nu) \times \rho}} \quad (4)$$

Для розрахунку товщини:

$$l = \frac{c}{f} \quad (5) \quad f(0) = \frac{c}{h \times 2} \quad (6) \quad s = 0.5 \times c(\tau - \tau_0) \quad (7)$$

У формулі (5)  $l$  – довжина хвилі,  $c$  – швидкість звуку,  $f$  – частота ультразвукових коливань. Формула (7) обчислює товщину об'єкта дослідження.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Цапенко В.К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник / В.К. Цапенко, Ю.В. Куц. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 448 с.
- [2] Беркута В.Г., Валевиц С.М. Ультразвукова дефектоскопія. Навчальний посібник. – Кіровоград: ТОВ «Імекс – ЛТД», 2006. – 177с.
- [3] Фазовий метод ультразвукової лунаїмпульсної товщинометрії виробів з конструкційних матеріалів: Монографія / Ю.В. Куц, О.В. Монченко, І.М. Бистра, та ін. / – К.: Інтерсервіс, 2019. – 192 с.
- [4] Беркута В.Г., Валевиц С.М. Ультразвукова дефектоскопія. Навчальний посібник. – Кіровоград: ТОВ «Імекс – ЛТД», 2006. – 177с.

**УДК 504.064**

*А.М. Мазуренко, студент гр. ПІ-21мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н. М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ**

**Анотація.** Методи дистанційного зондування стали важливим інструментом для оцінки забруднення повітря через їх здатність надавати точні та швидкі дані з великої території без прямого контакту з об'єктом дослідження. Використання цього методу дозволяє отримати важливі дані про склад та рівень забруднення атмосфери, що є ключовими для здоров'я людини та екологічної стабільності.

**Ключові слова:** дистанційне зондування, забруднення повітря, моніторинг середовища.

### **ВСТУП**

Питання забруднення повітря - актуальна проблема, оскільки воно є важливим ресурсом для екосистем та здоров'я людей. Негативні наслідки забруднення - токсичні гази та частинки аерозолів, загрожують здоров'ю та екосистемам. Для контролю рівня забруднення використовуються методи, включаючи дистанційне зондування. Дослідження охоплює аналіз сенсорів та супутникових систем для збору даних про забруднення повітря. Також буде розглянуто застосування дистанційного зондування для вирішення проблем, пов'язаних із забрудненням повітря, таких як промислові викиди та якість повітря у містах.

### **МЕТА РОБОТИ**

Ця стаття присвячена вивченню та аналізу методів дистанційного зондування для оцінки забруднення повітря. Основна мета цього дослідження полягає в розкритті можливостей методів дистанційного зондування для поліпшення моніторингу та управління забрудненням повітря, а також в створенні фундаменту для подальших досліджень у сфері охорони довкілля та здоров'я людей.

### **АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЗОНДУВАННЯ**

Дистанційне зондування атмосфери є ключовим інструментом у визначенні рівня забруднення повітря. Розвиток технологій сприяє розширенню методів і засобів дистанційного зондування, які забезпечують можливість детального аналізу атмосферних забруднень. Деякі з таких методів включають спектральний аналіз, фотометричний метод аналізу та метод газової хроматографії.

#### **1. Спектральний аналіз.**

Спектральний аналіз є одним із ключових методів дистанційного зондування для оцінки забруднення повітря. Використання спектральних характеристик відображеного, поглинутого або випроміненого світла дозволяє визначити склад атмосферних речовин, таких як діоксид азоту, аміак, озон та інші. Аналіз спектральних змін у просторі та часі дає можливість визначити розподіл та концентрацію забруднюючих речовин у повітрі.

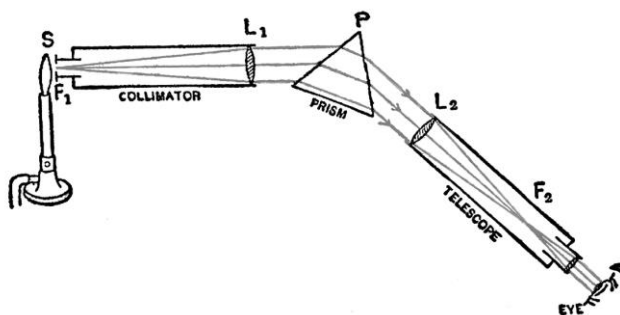


Рисунок 1. Схема роботи спектроскопа

## 2. Фотометричний метод аналізу

Фотометричний метод базується на вимірюванні інтенсивності світла, яке поглинається або випромінюється атмосферними забруднюючими речовинами. Цей метод використовується для визначення концентрації різних газів, аерозолів чи пилу у повітрі. Аналіз фотометричних даних надає інформацію про тип та вміст забруднень, дозволяючи оцінити їхній вплив на довкілля та здоров'я.

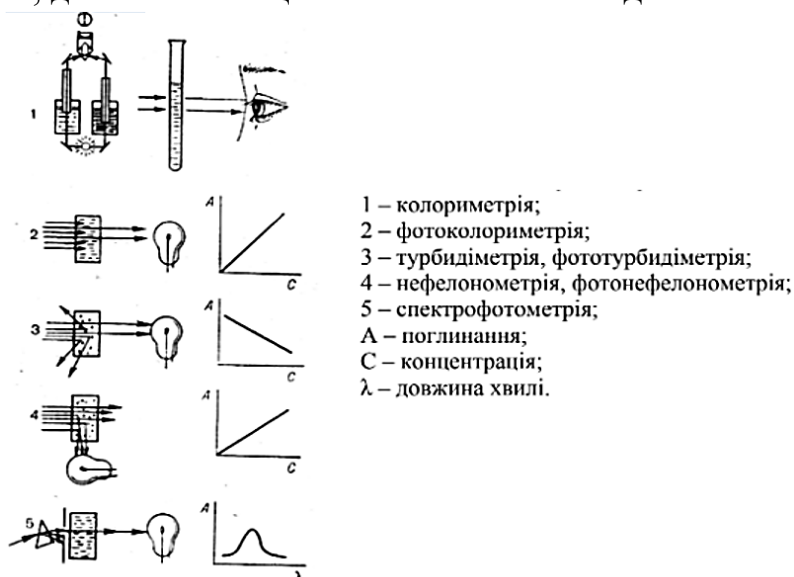


Рисунок 2. Фотометричний метод аналізу повітря

## 3. Метод газової хроматографії

Метод газової хроматографії є ефективним засобом аналізу газів у повітрі. Цей метод полягає у розділенні та ідентифікації складних сумішей газів на основі їхньої взаємодії зі стаціонарною фазою в хроматографічній колонці. Визначення рівнів забруднень газів у повітрі забезпечує детальну інформацію щодо хімічного складу атмосфери та джерел забруднення.

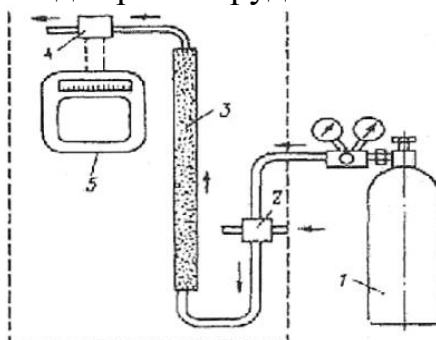


Рисунок 3. Принципова схема газового хроматографа

## **ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ СТОРІН ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ**

Слабкі сторони методів зондування, таких як: спектральний аналіз, фотометрія та газова хроматографія, можуть включати наступне:

**Спектральний аналіз**, хоча є потужним інструментом для визначення складу речовини в атмосфері, має свої недоліки. Атмосферні умови, такі як туман або пил, можуть значно впливати на якість та точність збору даних, спричиняючи спотворення результатів. Крім того, складність обробки великого обсягу спектральних даних може вимагати значних обчислювальних ресурсів та часу.

**Фотометричний метод**, хоча і дозволяє виміряти поглинання світла речовиною та визначати концентрацію забруднень, має свої обмеження. Чутливість цього методу до зовнішніх умов, таких як освітлення та умови спостереження, може впливати на точність вимірювань. Деякі фотометричні системи можуть мати обмеження у вимірюванні певних характеристик матеріалів або речовин у повітрі, що обмежує їхню універсальність.

**Газова хроматографія**, хоча і є ефективним методом аналізу речовин у повітрі, має свої вади. Складність підготовки зразка для аналізу може вимагати спеціалізованих навичок та обладнання, що робить процес часо- та ресурсомістким. Крім того, газова хроматографія може мати обмежений діапазон для виявлення та розділення певних типів сполук, що може обмежувати її застосування в деяких областях аналізу повітря.

## **ВИСНОВОК**

Метод дистанційного зондування є важливим інструментом для оцінки забруднення повітря. Використання супутникових даних дозволяє отримувати точну інформацію про рівень атмосферного забруднення та сприяє розробці ефективних стратегій екологічного контролю та збереження природних ресурсів. Дистанційне зондування є ключовим інструментом для створення більш здорового та екологічного оточуючого середовища для майбутніх поколінь.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Ночвай В. Використання ГІС у задачах управління якістю повітря / Ночвай В., Криваковська Р., Іщук О. // Електроніка та інформаційні технології. 2012. Випуск 2. С. 154–163.
- [2] Посудін Ю. І. Моніторинг довкілля з основами метрології: підручник – К.: 2012. – 426 с.
- [3] Васенко О. Г. Концепція екологічного нормування / О. Г. Васенко, Г. А. Верніченко, А. В. Гриценко та ін. – К. : Мінекобезпеки, 1997. – 22 с.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.*



УДК 006.91(02)

Д.О. Макаров, студент групи ПІ-21мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА МАЛОПОТУЖНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

**Анотація.** У даній статті наведено приклад адаптивного послідовного методу контролю для забезпечення високого рівня якості продукції. Розглянуто переваги і недоліки обраного способу обробки даних вимірювання. **Ключові слова:** Оцінювання відповідності нормам, невизначеність вимірювання, адаптивний послідовний метод, прийняття рішення.

### ВСТУП

На даний момент не дивлячись на віяння нової Індустрії 4.0, яка просуває глобалізацію та максимальну автоматизацію виробництва у багатьох галузях, зберігається попит на локальні підприємства. Це може бути невелика майстерня з кількома верстатами з ЧПК, чи кондитерська з виготовлення тортів. Реалізації продукції за допомогою мережі Internet дала новий поштовх для малого бізнесу. Основна специфіка налагодження подібного виробничого підприємства полягає в обмеженості фінансових та людських ресурсів. В результаті матимемо досить широкую номенклатуру дрібносерійної продукції, яка швидше за все, буде вироблятися на уніфікованому устаткуванні. Тому обраний метод оцінювання відповідності має буди максимально гнучким. З іншого боку для розглянутого типу підприємства велике значення приділяється довірі з боку покупця, як результат необхідно мінімізувати ризик втрат з його боку, тобто прийняття невідповідного до заявленого рівня якості продукту в якості відповідного цим нормам. Сукупність всіх дій з встановлення рішення про статус підконтрольного об'єкту відносно обраних лімітів називають процесом прийняття рішень [1]. На нього можна впливати різними способами, одним з найочевидніших є використання якіснішого та точнішого устаткування та ЗВТ з більшим класом точності, проте, як було підкреслено відсутність фінансових ресурсів є основною складовою проблематики, тому цей варіант не підходить. Другий – це введення більш складних методів оцінювання відповідності якості. Інший шлях – це збільшення кількості проведених вимірювань з подальшим введенням поправок, недоліком підходу є надмірне використання людського ресурсу, а саме часу, що є дефіцитним для невеликого підприємства.

### ВВЕДЕННЯ ЗАХИСНОЇ СМУГИ

Якщо розглянути можливий розподіл значень вимірювання контрольованих величин то отримаємо графік придатності продукції Рис.1. Він розділяється на 3 частини: в центрі маємо діапазон контрольної границі в межах яких значення вважається придатним, за його межами 2 діапазони непридатності.

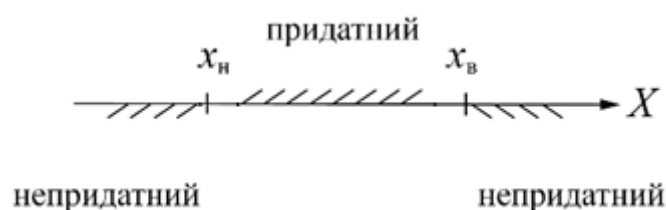


Рис.1. Графік придатності продукції

Основні ризики помилки рішення про відповідність лежать в околі границь придатного діапазону, де на це найбільше впливає невизначеність, тому першим кроком для зменшення ризиків є введення захисної смуги, що слугуватиме приймальним інтервалом у вигляді додаткового допуску,  $x'_n$  в околі нижнього границі  $x_n$  встановленого інтервалу, та відповідного інтервалу в околі верхньої границі. Розмір цього інтервалу буде залежати від метрологічних характеристик вимірювальної системи і буде визначатися для кожного виду продукції окремо.

Цей додатковий інтервал  $w$  відокремлюватиме область допустимих значень від приймальної області, що буде нівелювати втрати замовника. При цьому об'єкт контролю не відповідатиме вимогам ще у випадку коли його значення буде лежати в межах захисної смуги, а не тільки в разі, потрапляння значення контрольованого параметра за границі встановленого допуску.

Сама довжина введеної смуги  $w = x_n - x'_n$  задається значенням параметру, що кратний значенню розширеної невизначеності  $w = rU$ . Для простоти розрахунків приймають  $r = 1$ , в результаті маємо спрощений вираз  $w = U$ . Прийmemo коефіцієнт охоплення  $k = 2$  з рівнем довіри за 0,95, тоді значення розширеної невизначеності встановлюється виразом  $U = 2u_c$  (де  $u_c$  є сумарна стандартна невизначеність). Припускаючи нормальну функцію щільності ймовірності для вимірювальних значень контролю, матимемо максимальну ймовірність приймання невідповідного результату у 2,3%[2].

Як було вказано вище, за рахунок використання цього методу було усунуто не бракування невідповідної продукції. Проте можливі втрати виробника, не були зазнали змін, або, навіть, були збільшені. Для зменшення ймовірності цього необхідно змінювати довжину захисної смуги.

## АДАПТИВНИЙ ПОСЛІДОВНИЙ КОНТРОЛЬ

Для цього вводиться коефіцієнт вимірювальних можливостей, що пов'язує невизначеність вимірювання та довжину встановленої захисної смуги  $T$  і відображає ймовірність, з якою рішення про відповідність при певних співвідношеннях цих параметрів буде прийнято. Він визначається за формулою (1):

$$C_m = \frac{x_e - x_n}{4u_c} = \frac{T}{4u_c} = \frac{T}{2U} \quad (1)$$

Діаграма на Рис.2 відображає співвідношення між коефіцієнтом вимірювальних можливостей  $C_m$  з відносним значенням контрольованої величини  $\bar{z}$ , при ймовірності прийняття рішення про відповідність  $P_e$  відносно рівня довіри 95%[3].

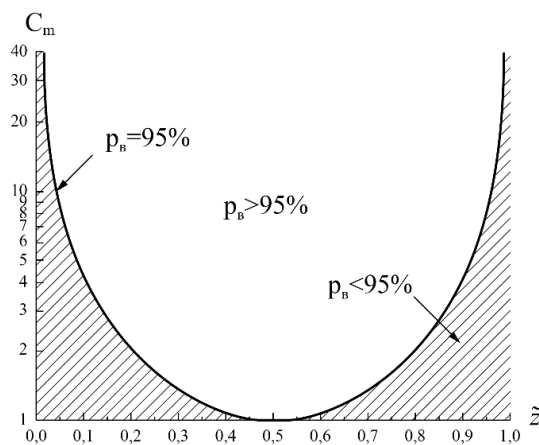


Рис.2. Графік співвідношення  $C_m$  та  $\tilde{z}$

Графік показує, що діапазон значень  $z$  при якому забезпечується заданий рівень довіри є невеликим і приблизно дорівнює десятій частині всієї довжини допускового інтервалу.

Для забезпечення можливості прийняття правильного рішення про відповідність для ширшого діапазону контрольованих величин необхідно збільшити коефіцієнт вимірювальних можливостей. Найочевидніший спосіб реалізації цього здійснюється за рахунок зменшення невизначеності вимірювання, як приклад використанням вимірювального обладнання більшого класу точності, але за рахунок специфіки області використання розглянутого методу контролю – цей шлях є неприйнятним з огляду на обмеження фінансового ресурсу. У якості альтернативного підходу розглянемо спосіб керування невизначеністю, на основі чого реалізується адаптивний послідовний підхід до прийняття рішення про відповідність. Ця процедура розділяється на певну кількість ітерацій зміни захисної смуги, під час першої, на основі реального співвідношення довжин допускового інтервалу та інтервалу невизначеності вимірювання встановлюються вихідні відносні контрольні границі  $\tilde{z}_{1n}$  та  $\tilde{z}_{1e}$ , які забезпечують ймовірності прийняття рішення про відповідність на рівні  $p_s = 95\%$ .

$$\tilde{z}_{1n} = \frac{x'_{1n} - x_n}{T}; \quad \tilde{z}_{1e} = \frac{x_e - x'_{1e}}{T}, \quad (2)$$

Виразимо значення приймальних границь.

$$x'_{1n} = \tilde{z}_{1n} \cdot T + x_n, \quad x'_{1e} = x_e - \tilde{z}_{1e} \cdot T. \quad (3)$$

Отримані значення необхідно порівнюється з результатом вимірювання  $z_1$ . У випадку якщо він знаходиться у межах:

$$x'_{1n} \leq z_1 \leq x'_{1e} \quad (4)$$

то можемо казати, що прийняте рішення про відповідність об'єкта відповідає встановленим нормам з заданим рівнем ймовірності  $p_b$  і на цьому процедура контролю закінчується.

У іншому випадку необхідно встановити нові значення контрольної границі

і вирахувати середнє арифметичне значення контрольованої величини для кількох паралельних вимірювань

Суть методу полягає в розширенні приймальних границь і спробі наблизити їх до контрольних. При чому перевірки підлягають лише об'єкти контролю, результати встановлення значень яких потрапили у діапазон захисної смуги.

Рис.3 слугує ілюстрацією для розглянутого методу алгоритму з покроковим зменшенням захисної смуги, і як результат – збільшенням приймального інтервалу від першочергових значень  $(x_{1н}, x_{1в})$  до  $(x_{2н}, x_{2в})$ .

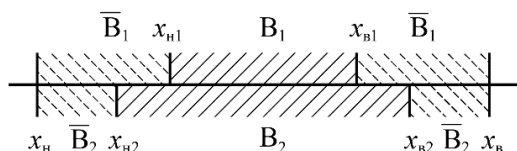


Рис. 3. Зображення нових адаптивних границь

## ВИСНОВОК

Використання методу послідовних адаптивних приймальних границь дозволяє мінімізувати втрати як виробника так і замовника, є гнучким і ефективним вибором для невеликих підприємств за несуттєвого збільшення обсягу контроль-вимірювальних операцій і матиме можливість для подальшого збільшення ефективності в випадку зростання виробництва і впровадження якіснішого устаткування

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] ДСТУ 3021:95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. К.: Держстандарт України, 1995. 71 с.
- [2] Deaver, D. Managing calibration confidence in the real world. 1995 NCSL Workshop and Symposium (1995). p.1-17. URL: [http://download.caltech.se/download/fluke/metcal/app\\_not/9010057\\_ENG\\_A\\_W.pdf](http://download.caltech.se/download/fluke/metcal/app_not/9010057_ENG_A_W.pdf)
- [3] JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment.

УДК 621.316.1

*В.П. Малько, аспірант*  
Інститут загальної енергетики НАН України

## **ВИМІРЮВАННЯ СУМАРНИХ ГАРМОНІЧНИХ СПОТВОРЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ЗАГАЛЬНОЇ ПРИЗНАЧЕНОСТІ**

**Анотація.** Розглянуто способи вимірювання сумарного коефіцієнта гармонічних спотворень (СКГС). Визначені параметри якості для електромереж загальної призначеності їх допустимі та граничні значення. Проаналізовано характеристики існуючих засобів контролю якості електроенергії, відмічені їх переваги та недоліки. Зроблено висновок, що швидке перетворення Фур'є має ряд переваг у задачі визначення СКГС, тому вбачається доцільним провести дослідження особливостей його застосування для аналізу полігармонічного сигналу напруги в мережах загальної призначеності в умовах зміни фундаментальної частоти.

**Ключові слова:** параметри якості електроенергії, сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень, засоби контролю якості електроенергії.

### **ВСТУП**

На сьогоднішній день визначення показників якості електроенергії в електромережах загальної призначеності є одним з головних питань проблеми якості електроенергії. Кількісна характеристика якості електромережі загалом оцінюється за показниками якості електроенергії, які виражаються відхиленнями напруги і частоти від номінальних значень, сумарним коефіцієнтом гармонічних спотворень (СКГС), а також коефіцієнтом несиметрії напруги для фундаментальної частоти. Для кожного із зазначених параметрів визначене нормування, тобто вказані допустиме та граничне значення, згідно ДСТУ EN 50160:2014, за яких зберігається працездатність електричних пристроїв та обладнання. Відхилення будь-якого з цих показників порушує роботу електричних пристроїв та призводить до збоїв в роботі, що виявляються у вигляді втрат даних або зниженні терміну працездатності обладнання.

Так як більшість електричних пристроїв та обладнання чутливі до наявності вищих гармонік, тому в результаті збільшення показника СКГС збільшуються витрати в електричних пристроях, виникають порушення роботи автоматики захисту, збільшується похибка вимірювальної апаратури, тощо. Тому визначення ефективного методу вимірювання значення показника СКГС є актуальною науковою задачею.

**Метою роботи** є аналіз останніх публікацій з питання вимірювання СКГС та аналіз ефективності запропонованих в них технічних рішень.

### **ОСНОВНА ЧАСТИНА**

#### **1. Модель напруги в електромережах загальної призначеності**

Відповідно до стандарту номінальна напруга живлення повинна становити 230 В, а частота напруги електроенергії 50 Гц. Для забезпечення якості електроенергії напруга та частота електромережі повинна знаходитись в межах 209-231 В для напруги (не більше 5%), 49.8-50.2 Гц для частоти (не більше 1 %), а коефіцієнт несинусоїдальності не повинен перевищувати 5% [1].

Вихідна напруги електромережі завжди несинусоїдальна. Причиною цього є наявність вищих гармонік, які з'являються в результаті підключення до мережі пристроїв з нелінійним навантаженням. Тому модель напруги в електромережах загальної призначеності можна представити у такому виді:

$$u(t) = U_1 \cos(2\pi f_1 t - \varphi_1) + \sum_{g=2}^G U_g \cos(2\pi g f_1 t - \varphi_g), \quad t \in T_c, \quad U_1 \gg U_g, \quad (1)$$

де  $U_1, f_1, \varphi_1$  – відповідно амплітуда, частота та початкова фаза 1-ої гармоніки, а  $U_g, \varphi_g$  – відповідно амплітуда та початкова фаза  $g$ -тої гармоніки,  $f_g = g f_1$ ,  $T_c$  – час аналізу сигналу.

Для оцінювання дії вищих гармонік введено поняття сумарного коефіцієнту гармонійних спотворень (СКГС), який оцінюється шляхом визначення відношення повної енергії вищих гармонік до енергії його фундаментальної частоти, за формулою:

$$K = \sqrt{\frac{\sum_{g=2}^{40} U_g^2}{U_1^2}} \quad (2)$$

## 2. Аналіз публікацій з питання вимірювання СКГС.

Відома низка способів виділення гармонік і частот у несинусоїдальних напругах за допомогою таких перетворень як: швидкого перетворення Фур'є з застосування керованих активних чи пасивних фільтрів, перетворення Герцеля, формул Релея, застосування Вейвлет-перетворення та інші.

В роботі [2] автором розглянуті загальні методи визначення СКГС на основі використання швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Описано 2 методи визначення СКГС. Перший полягає у фільтрації контрольованого сигналу та розділенні його на відфільтровану від вищих гармонік фундаментальну частоту та на вищих гармонік відфільтрованих від фундаментальної частоти з наступним вимірюванням середньоквадратичного значення кожної з цих двох частин та розрахунок СКГС. Цей метод дає змогу визначити СКГС, але не відфільтровує широкосмуговий шум. Другий спосіб полягає у вимірюванні амплітуди основної частоти та кожної гармоніки з наступним використанням цих вимірювань для обчислення СКГС за допомогою рівняння (2).

В роботі [3] авторами представлено метод і засіб визначення сумарного коефіцієнта гармонічних спотворень форми напруги вищими гармоніками за допомогою використання перетворення Фур'є (ШПФ). Метод полягає в отриманні різниці між сигналом спотвореного вищими гармоніками та опорного сигналу. На основі отриманої різниці та контролюючого сигналу виділяють першу гармоніку. СКГС розраховують як відношення отриманого значення різниці до діючого значення першої гармоніки контрольованої напруги. Метод забезпечує похибку вимірювання коефіцієнта спотворення форми напруги не більше 1 %, а також дає змогу врахувати всі гармоніки та інтергармоніки, що забезпечує вищу точність порівняно із іншими методами.

В роботі [4] авторами запропонований метод розрахунку СКГС за допомогою системи моніторингу мережі SOGI-FLL. Метод розроблено з використанням режекторного фільтра другого порядку SOGI стандартної системи моніторингу SOGI-FLL. Розрахунок СКГС проводиться на основі

використання кількох математичних операцій, фільтру низьких частот (LPF) і системи моніторингу мережі. Метод є точним і має невелике обчислювальне навантаження, тому він придатний для оцінювання напруги мережі або поточного СКГС. Зроблено висновок, що запропонований метод є швидшим, точнішим і простішим за метод на основі ШПФ.

В роботі [5] авторами запропонований метод визначення СКГС за допомогою алгоритмів вузькосмугової фільтрації. Запропонований метод реалізується за допомогою фільтрації сигналу на основі перетворення Герцеля, що має частотну характеристику зі смугою пропускання частот 1 Гц. Завдяки фільтрації набору даних вимірювань широкосмуговий фоновий шум відфільтровується, а точність вимірювання СКГС підвищується. Крім цього запропонований метод потребує менших обчислень та пам'яті ніж типове перетворення Фур'є, і не потребує збереження повного набору відліків вимірювань у пам'яті вимірювача СКГС перед застосуванням алгоритму.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для оцінки можливостей різних пристроїв контролю якості електроенергії проведено порівняльний аналіз відомих систем контролю якості електроенергії. Такі систем повинні забезпечувати високу точність вимірювання відхилення напруги, струму та частоти, мати можливість вимірювати СКГС з урахуванням не менше 30 вищих гармонік, оцінювати симетрію напруг у трифазних мережах, а також вимірювати активну, реактивну та повну споживану потужність. Порівняльна характеристика пристроїв вимірювання СКГС зведені в табл.1.

Табл.1. Порівняльна характеристика пристроїв контролю якості

<i>№ n/n</i>	<i>Назва пристрою</i>	<i>Виробник</i>	<i>Похибка визначення показників якості</i>	<i>Кількість аналізованих гармонік</i>	<i>Вимірювання СКГС струму та напруги</i>
1	DATAKOM DKM-405-S	DATAKOM ELECTRONICS ENGINEERING A.S.	Для СКГС похибка не вказана. ±0.5 % для всіх інших параметрів якості	31	Так
2	PM175	SATEC	±0.2% для всіх параметрів. Для СКГС похибка не вказана	50	Так
3	KLEA 220P	Klemsan	±0.2% для напруги ±0.1% для частоти ±1% для СКГС	31	Так
4	UMG 512- PRO	Janitza	±0.1% для напруги та струму. Для СКГС похибка не вказана	63	Так

Результати аналізу характеристик приладів засвідчили, що, по-перше, в специфікаціях більшості засобів контролю якості електроенергії не вказана похибка визначення СКГС. По-друге, відсутні значення похибок вимірювання відносних напруг окремих вищих гармонік, що важливо для оцінювання окремо

парних, непарних та гармонік кратних трьом, що особливо актуально для трифазних електромереж. По-третє, для коректного визначення параметрів якості електромережі похибка визначення відхилень напруги та струму повинна становити не більше  $\pm 0.5\%$ , а значення СКГС, згідно нормування, не повинно перевищувати  $\pm 1\%$ . По-четверте, в проаналізованих засоби відсутні дані щодо впливу варіацій фундаментальної частоти на точність визначення СКГС.

Попередні дослідження показали, що швидке перетворення Фур'є має ряд корисних властивостей для розв'язання задачі визначення СКГС та аналізу окремих вищих гармонік у мережах загальної призначеності. Враховуючи, що це перетворення дуже чутливе до співвідношень частоти основної гармоніки сигналу, частоти дискретизації і часу аналізу сигналу, припустимі згідно діючих в електроенергетиці норм коливання частоти основної гармоніки можуть призвести до значних похибок вимірювання СКГС. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на удосконалення методу визначення СКГС на основі швидкого перетворення Фур'є за рахунок визначення частоти основної гармоніки та адаптації до неї параметрів збору даних з електромережі.

## ВИСНОВКИ

Результати дослідження показали, що визначення СКГС потребує використання одного з методів аналізу спектру такого як швидке перетворення Фур'є, перетворення Герцеля, використання Вайлет перетворення та ін. Їх використання дає змогу не тільки збільшити точність визначення СКГС, але й зменшити обсяг пам'яті, необхідної для розрахунку параметрів якості. В порівнянні з іншими методами швидке перетворення Фур'є має ряд переваг у задачі визначення СКГС, тому вбачається доцільним провести дослідження особливостей його застосування для аналізу полігармонічного сигналу напруги в мережах загальної призначеності в умовах зміни фундаментальної частоти.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. На заміну EN 50160:2010 ; чинний від 2014-05-20. Вид. офіц. 2014. 32 с.
- [2] Williams D. Understanding, Calculating, and Measuring Total Harmonic Distortion (THD). All About Circuits, 2017, 20.
- [3] Гудим В. І., Яцишин С. П., Мамцаж Д. Визначення коефіцієнта спотворення напруги в системах електропостачання. *Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник*, 2019, 80(3), с.64-72.
- [4] Matas, J.; Martin, H.; De La Hoz, J.; et.al. A New THD Measurement Method with Small Computational Burden Using a SOGI-FLL Grid Monitoring System. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2019, 35(6), с.5797–5811.
- [5] Method for measurement of total harmonic distortion : patent US 2012/0081104A1 United States : GOIR 23/16. No. 12/896,060 ; applied on 01.10.2010 ; published on 05.04.2012. 14 p.

*Наук. керівник – д.т.н., старший дослідник Ковтун С.І.*



## УДК 62.5

М. Л. Микитенко, студент гр. ПІ-21мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н. М.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

# ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МОЛОКА

**Анотація.** В цій статті представляється інноваційний підхід до контролю якості молока за допомогою електрохімічного аналізу та методів машинного навчання. Основна увага приділяється використанню моделі K-Nearest Neighbors (KNN) для класифікації якості молока на основі різних параметрів. Такий метод дослідження та обробки включає збір даних, попередню обробку, навчання моделі та перевірку.

**Ключові слова:** контроль якості молока, електрохімічний аналіз, K-Nearest Neighbors (KNN), Machine Learning, попередня обробка даних, перевірка моделі

## ВСТУП

Прагнучи забезпечити якість молочних продуктів, молочна промисловість стикається зі значними проблемами з контролю якості молока. Молоко та молочні продукти, є одними основних компонентів харчування людини і вимагають більш точних методів оцінки якості. Традиційні методи, незважаючи на їх надійність, часто є трудомісткими та тривалими процесами. Інтеграція машинного навчання в цю область представляє собою інноваційне рішення, що підвищує як ефективність, так і точність методів оцінки якості.

Серед різноманітних методів машинного навчання алгоритм K-Nearest Neighbors (KNN) виділяється своєю простотою та ефективністю навчання моделі, особливо в задачах класифікації. Це дослідження показує потенціал моделі KNN у контексті контролю якості молока. Використовуючи її для аналізу та класифікації параметрів якості молока ми можемо оптимізувати процес контролю. Застосування таких передових аналітичних методів дозволить зробити процеси контролю більш ефективними та точними.

## ПІДГОТОВКА ТА СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ

Основою ефективною моделі [1] машинного навчання є надійний набір даних. У цьому дослідженні використовується тестовий датасет milknew.csv, що охоплює різноманітні параметри, важливі для оцінки якості молока.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	pH	Temperature	Taste	Odor	Fat	Turbidity	Colour	Grade
2	6.6	35	1	0	1	0	254	high
3	6.6	36	0	1	0	1	253	high
4	8.5	70	1	1	1	1	246	low
5	9.5	34	1	1	0	1	255	low
6	6.6	37	0	0	0	0	255	medium
7	6.6	37	1	1	1	1	255	high
8	5.5	45	1	0	1	1	250	low
9	4.5	60	0	1	1	1	250	low
10	8.1	66	1	0	1	1	255	low

Рисунок 1. Приклад датасету для навчання моделі

Одним з важливих етапів оцінки якості, є етап попередньої обробки даних [2]. Це включає в себе очищення та нормалізацію даних за допомогою функції StandardScaler, щоб переконатися, що набір даних добре підходить для моделі KNN, дозволяючи їй точно інтерпретувати та класифікувати дані.

```
scaler = StandardScaler()  
X_train = scaler.fit_transform(X_train)  
X_test = scaler.transform(X_test)
```

Рисунок 2. Попередня обробка

Модель KNN [3] особливо підходить для задач багатокласової класифікації, до яких відноситься аналіз якості молока. Модель розроблена з використанням бібліотеки sklearn для Python, гіперпараметрів моделі, зокрема вибору коефіцієнту K, що є частиною моделі.

```
x = dataset.iloc[:, :-1].values  
y = dataset.iloc[:, -1].values
```

```
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
```

Рисунок 3. Модель KNN

Для навчання [4] моделі використовується 80% даних, а решта 20% використовуються для тестування. Ефективність моделі KNN ретельно оцінюється за допомогою матриці помилок і класифікаційного звіту, що дає можливість зрозуміти її точність і надійність у реальних сценаріях.

```
knn = KNeighborsClassifier(n_neighbors=1)
```

```
knn.fit(X_train, y_train)
```

```
▼ KNeighborsClassifier  
KNeighborsClassifier(n_neighbors=1)
```

Рисунок 4. Навчання

Далі ми оцінюємо результат навчання [5] та ефективність моделі KNN, зосереджуючись на запам'ятовуванні та оцінці коефіцієнту F1, що є показником точності моделі.

```
predictions = knn.predict(x_test)
print(confusion_matrix(y_test, predictions))
print(classification_report(y_test, predictions))
```

```
[[48  0  0]
 [ 1 77  0]
 [ 0  0 86]]
```

	precision	recall	f1-score	support
high	0.98	1.00	0.99	48
low	1.00	0.99	0.99	78
medium	1.00	1.00	1.00	86
accuracy			1.00	212
macro avg	0.99	1.00	0.99	212
weighted avg	1.00	1.00	1.00	212

Рисунок 5. Результати навчання

## ВИСНОВОК

У цій статті представлений метод вимірювання якості молока за допомогою використання математичної моделі KNN. Такий підхід має великий потенціал у контролі якості молока, що дає можливість рухатися у напрямку більш досконалих, ефективних і надійних методів оцінки якості в молочній промисловості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Kucheruk, V. Measurement of the Number Servings of Milk and Control of Water Content in Milk on Stall Milking Machines / V. Kucheruk, P. Kulakov, N. Storozhuk // Proceedings of the International Conference SCIT 2016, May 20-21, 2016, Warsaw, Poland. Recent Advances in Systems, Control and Information Technology. Part V, Volume 543 of the series Advances in Intelligent Systems and Computing, pp 435-447. - 01 December 2016. - DOI: 10.1007/978-3-319-48923-0\_46 (Scopus, Web of Science)
- [2] David Paper, Hands-on Scikit-Learn for Machine Learning Applications, 2019. – 242с
- [3] O'Reilly Media, Inc., Data Algorithms, 2015
- [4] Кучерук В. Ю., Поджаренко В. О., Кулаков П. І. Програмування логічних контролерів Schneider Electric.
- [5] Пристрій для вимірювання кількості порцій молока та виявлення води в молоці [Текст] / В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь (Україна). - № u201304687, заявл. 15.04.2013, опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7. - 4 с. : кресл.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.*

**УДК 621.311; 621.314**

*Ю.В. Носова, студ. гр. ПІ-32мп, О.В. Однорог, студ. гр. ПІ-21мп,*

*А.Е. Пирогов, студ. гр. ПІ-21мп*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ ВІД СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ**

*Анотація.* Нечітке моделювання наразі є ефективним методом експертного оцінювання об'єктів різного рівня складності і дозволяє користувачу легко отримувати їх рейтингові оцінки. В представленій роботі наведено результати нечіткого моделювання системи автономного живлення персонального комп'ютера від сонячних панелей. Модель була розроблена в модулі FUZZY LOGIC середовища MATLAB. Перевірка моделі відбувалась на основі даних для типових систем автономного живлення, які представлені на теренах України. Результати розробки можуть бути використанні при необхідності об'єктивного аналізу характеристик систем на основі експертних оцінок. Сонячні панелі разом із акумуляторною батареєю є основним джерелом живлення комп'ютера в умовах нестійкого постачання від електричної мережі загального користування. Тому правильний вибір системи автономного живлення на основі нечіткого оцінювання забезпечить надійну роботу комп'ютера і збереження даних.

**Ключові слова**

### **ВСТУП**

В умовах періодичних збоїв електропостачання актуальною є проблема вибору ефективної системи автономного електроживлення для персонального комп'ютера. При цьому існуючі на ринку пропозиції підкріплені висновками експертів, які користуються окремими експлуатаційними параметрами систем без належного комплексного обґрунтування. Метод нечіткого моделювання надає можливість створювати і використовувати експертні системи для рейтингового оцінювання будь-яких об'єктів, зокрема систем автономного живлення від сонячних панелей. При цьому і алгоритм, і сам розрахунок виконує програма моделювання в модулі FUZZY LOGIC середовища MATLAB, що робить процес створення експертної системи доступним для самого користувача.

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою роботи є розробка нечіткої моделі для оцінювання якості системи автономного живлення комп'ютера від сонячних панелей.

### **МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Розробку моделі виконували в середовищі MATLAB за допомогою модуля FUZZY\_LOGIC\_TOOLBOX[1-3]. Були обрані такі вихідні дані для моделювання:

- тип алгоритму – Мамдані;
- кількість входів – три із трьома функціями належності типу Гауса;
- тип функцій належності для виходу – трикутний;
- кількість правил нечіткого виведення – 27;
- розмір вихідної шкали – 100 балів;
- призначення першого входу: час вмикання акумуляторної батареї «ЧасВмик» при недостатній потужності сонячних панелей із діапазоном від 0 до 5 мс;
- призначення другого входу: різниця між максимальним і реальним коефіцієнтом потужності « $1 - \cos \varphi$ » із діапазоном від 0 до 0,05;

- призначення третього входу: коефіцієнт гармонік «КГарм» із діапазоном від 0 до 0,05;
- вихід вказує на коефіцієнт якості «КЯк» системи автономного живлення із діапазоном від 0 до 100 балів.

Для оцінювання системи автономного живлення комп'ютера від сонячних панелей були обрані такі параметри:

- швидкодія комутації акумуляторної батареї за умови припинення або недостатнього постачання енергії від сонячних джерел;
- різниця між ідеальним і реальним значенням коефіцієнта потужності або  $(1 - \cos \varphi)$ ;
- коефіцієнт гармонік в напрузі, яку постачає автономна система живлення.

Перший із зазначених параметрів є найбільш важливим для споживача, адже має забезпечити безвідмовну роботу комп'ютера. Тому вплив першого чинника на оцінку є найбільшим.

Вихідна шкала має розмір 100 балів із максимальним значенням 85,4 бали та мінімумом у 14,6 бали.

Поверхня нечітких рішень є однаковою для пар координат « $1 - \cos \varphi$ » – «ЧасВмик» та «КГарм» – «ЧасВмик» (Рис. 1).

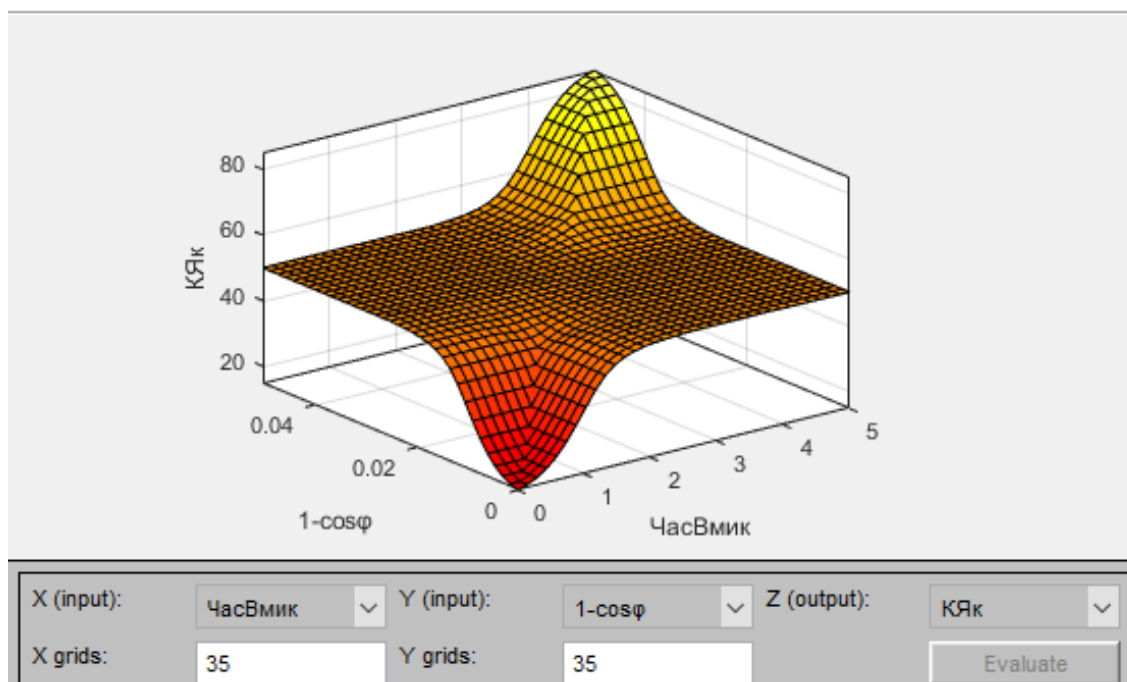


Рис. 1. Поверхня рішень для координат « $1 - \cos \varphi$ » – «ЧасВмик»

Поверхня рішень в координатах « $1 - \cos \varphi$ » – «КГарм» відрізняється від поверхонь для інших двох пар, що можна пояснити важливістю швидкодії вмикання акумуляторної батареї у порівнянні із двома іншими параметрами.

За допомогою движків модель налаштовують на визначення коефіцієнту якості системи автономного живлення (Рис. 2).

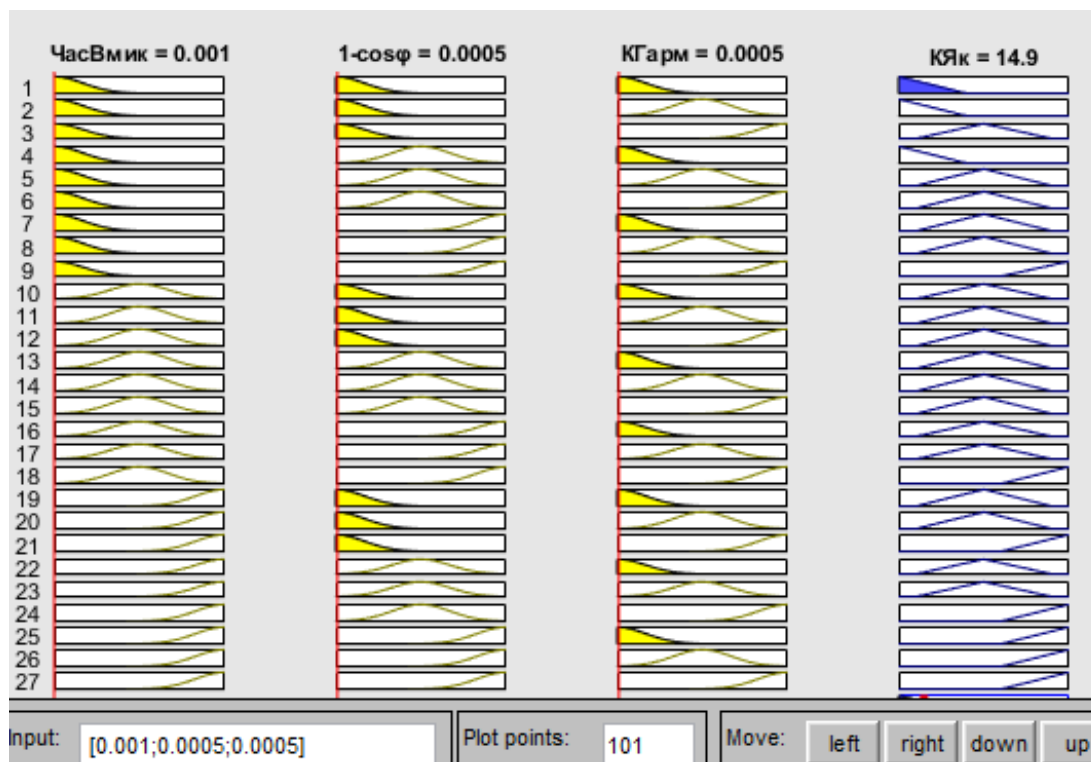


Рис. 2. Визначення коефіцієнту якості системи автономного живлення комп'ютера від сонячних панелей: коефіцієнт якості наближений до максимуму і дорівнює 14,9 бали

Особливістю нечіткого оцінювання є відсутність радикальних значень: «нуль балів» та «100 балів», що відповідає принципу сприятливого ставлення до усіх учасників ринку.

## ВИСНОВКИ

Результатом роботи є отримання нечіткої моделі з оцінювання якості системи автономного живлення комп'ютера від сонячних панелей. Цю модель можна використати в якості експертної системи для порівняльного аналізу зазначених вище систем. В моделі є три вхідних параметри: швидкодія вмикання акумуляторної батареї при недостатній потужності панелей, різниця між ідеальним і реальним коефіцієнтом потужності (цей параметр є актуальним для усіх систем із коректором коефіцієнту потужності) та коефіцієнт гармонік. При вдосконаленні нечіткої моделі можливе додавання четвертого вхідного параметру – динамічного діапазону навантаження (у децибелах).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Godfrey H. Fuzzy Logic with MATLAB. – Great Space Independent Publishing Platform. – North Charleston, SC, USA. – 2016. – 328p.
- [2] Abhijit Pandit. Mathematical Modeling using Fuzzy Logic Applications to Sustainability. – CRC Press. Taylor and Francis Group. – 2021. – 212 p.
- [3] <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html> [0]

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Божко К.М.*

УДК 621.317

А.І. Ніколаєв, студент гр. ПІ-32мп, Ю.О. Гаврилюк, студент гр. ПІ-з21мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТОВЩИНИ ПЛІВКИ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ

**Анотація.** Для контролю значення товщини плівок з полімерних матеріалів, які виготовляються на виробництві, доцільно використовувати інформаційно-вимірювальну систему, яка буде визначати значення технологічного параметру за двома і більше точками виробу. Для вирішення поставленої задачі можна застосовувати комутаційну ланку в системі, якою може бути аналоговий мультиплексор. У даній роботі наведено структурну схему інформаційно-вимірювальної системи та наведено принцип її дії. Перевагою даної системи є її модульність, що дасть можливість розширювати її можливості із підключенням додаткових вимірювальних каналів до основної частини системи.

**Ключові слова:** інформаційно-вимірювальна система, аналоговий мультиплексор, аналого-цифровий перетворювач, мікроконтролер, перетворення логічних рівнів, товщина матеріалу, полімерна плівка.

### ВСТУП

При сучасних умовах виробництва вимірювання та контроль товщини різних полімерних матеріалів є однією з основних технічних задач, яку необхідно вирішити для забезпечення високої якості готових виробів. Досить часто на виробництві необхідно контролювати значні площі матеріалу малої товщини, тому саме доцільно застосовувати усереднений показник технологічного параметру із використанням багатьох вимірювальних каналів. Це дасть можливість отримувати вимірювальну інформацію про технологічний параметр в кожній точці виробу та визначати усереднену його оцінку. Для реалізації даної задачі необхідно розробити та дослідити роботу структурної схеми інформаційно-вимірювальної системи [1-6] із модульним підключенням додаткових каналів за необхідності.

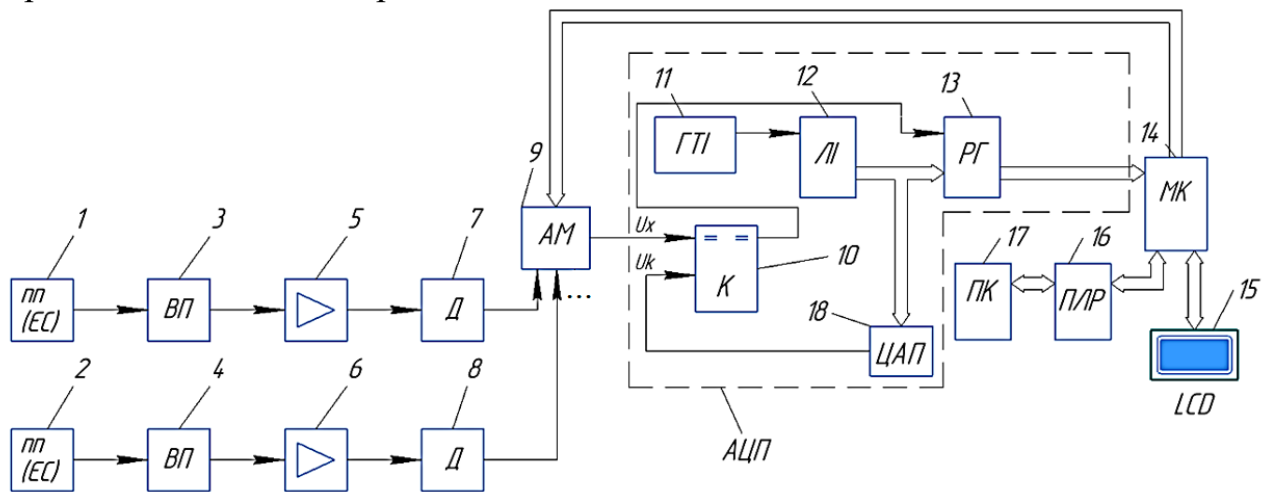
### ПРИНЦИП ДІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Для вимірювання товщини різних плівок полімерних матеріалів, у якості первинного перетворювача можуть використовуватися датчики, які працюють на змінному струмі.

На рисунку 1 зображено структурну схему інформаційно-вимірювальної системи (ІВС). В структурі системи показано два вимірювальні канали для визначення товщини матеріалу у двох точках. До системи входять наступні блокові елементи: первинні перетворювачі (ПП) 1, 2, вторинні перетворювачі (ВП) 3, 4, підсилювачі (П) 5, 6, детектори корисного сигналу (Д) 7, 8. Дані канали з'єднані паралельно між собою, та під'єднуються до аналогового мультиплексора (АМ) 9. Також присутній зовнішній аналого-цифровий перетворювач (АЦП) [7], до складу якого входять: компаратор (К) 10, генератор тактових імпульсів (ГТІ) 11, лічильники імпульсів (ЛІ) 12, регістри (РГ) 13, цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) 18. Зовнішній блок АЦП, у свою чергу, підключений до мікроконтролера (МК) 14, який необхідний для опрацювання та передачі вимірювальної інформації на LCD екран 15 та на персональний комп'ютер (ПК) 17 через мікросхему (MAX232) перетворення логічних рівнів (ПЛР) 16.

Принцип роботи даної системи можна описати так. Товщина матеріалу полімерної плівки, яка вимірюється, впливає на ПП 1, 2, що перетворюють

неелектричну величину в електричний сигнал, що подається на ВП 3, 4. Далі формується інформаційний сигнал, який подається на вхід П 5, 6, який відповідно підсилює даний інформаційний сигнал. З виходу П 5, 6 інформаційний сигнал потрапляє до Д 7, 8, який перетворює його в однополярну напругу  $U_x$ . Ця напруга подається на один з входів АМ 9. Перший та другий наведені вимірювальні канали системи переключаються по черзі та надсилають відповідний сигнал на різні входи АМ 9. Після чого сигнал подається на перший вхід К 10, один з двох вимірюваних сигналів напруги  $U_x$ , в залежності від заданої команди перемикачності входу АМ 9 з МК 14. На другий вхід К 10 з ЦАП 18 вводиться пилоподібна компенсуюча напруга  $U_k$ . Пристрій порівняння К 10 порівнює ці напруги  $U_x$  та  $U_k$  і видає зміну логічного сигналу в момент їх рівності. Під час рівності напруг ( $U_k = U_x$ ) К 10 створює керуючий імпульс для запису поточного коду  $N_x$  з ЛІ 12 у РГ 13, відповідно до вимірюваної напруги  $U_x$ . У свою чергу, з ГТІ 11 подаються тактові імпульси на ЛІ 12, які підраховують їх кількість, що отримуються протягом періоду, коли К 10 видає керуючий імпульс запису коду  $N_x$  в РГ 13. Отриманий результат підрахунку  $N_x$  із РГ 13 передається на МК 14, а далі опрацьовується МК 14 та відображається на рідкокристалічному дисплеї LCD 15 вже у вигляді вимірюваної товщини полімерної плівки. Додатково опрацьований усереднений результат вимірювання товщини плівки передається на ПК 17 через ПЛР 16.



с

Рисунок 1. Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи

Запропонована структурна схема дозволяє проаналізувати роботу ІВС із зовнішнім АЦП, що виконує технологічні виміри товщини полімерних матеріалів в процесі виробництва тонких плівок із значною площею та дозволяє отримувати усереднений результат за декількома точками виробу.

## ВИСНОВКИ

Застосування запропонованої ІВС для вимірювання товщини плівки полімерного матеріалу із значною площею по різних його точках з отриманням усередненого результату дозволяє оперативно проводити моніторинг якості продукції в процесі виробництва. Дані ІВС легко використовувати для подальшого контролю не тільки товщини плівки полімерного матеріалу, а і для



зменшення витрат сировини, яка є основою для отримання готової продукції із дотриманням належної якості. Такий підхід вже використовують багато відомих виробництв по усьому світу, він дає можливість у майбутньому не тільки зменшити фінансові витрати на виробництво, але й підвищити попит споживача на якісну продукцію.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1]Здоренко В.Г. Проектування комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньо-професійною програмою «Інформаційні вимірювальні технології» спеціальності 152 Метрологія та інформаційновимірювальна техніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Г. Здоренко, Н. М. Защепкіна, С. В. Барилко, С. М. Лісовець, О. М. Маркіна. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 262 с.
- [2]Єременко В.С. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем / В.С. Єременко, В.П. Бабак, С.В. Бабак та ін.: за ред. В.П. Бабака. – К.: Ун-т новітніх технологій НАУ, 2017. – 496 с.
- [3]Якименко Ю.І. Мікропроцесорна техніка: підручник / Ю.І. Якименко, Т.О. Терещенко, Є.І. Сокол, В.Я. Жуйков, Ю.С. Петергеря; За ред. Т.О.Терещенко.– 2–ге вид. перероб. Та доповн. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»; «Кондор», 2004. – 440 с.
- [4]Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: Підручник / В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський, В.В. Грабко. – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.
- [5]Бабак В.П. Обробка сигналів: Підручник / В.П. Бабак, В.С. Хандецький, Е. Шрюфер. – К.: Либідь, 1999. - 392 с.
- [6]Дорожовець М. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник у 2 т. / М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 1300 с.
- [7]Бабак В.П. Цифрові вимірювальні прилади. Комп'ютерний лабораторний практикум / В.П. Бабак, В.С. Єременко, В.М. Мокійчук, Ю.В. Куц. – Київ. НАУ, 2006. – 166 с.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Здоренко В.Г.*

УДК 621.317

*В.О. Осадчий, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., доц. Козир О.В.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МЕТОДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ**

**Анотація.** В статті висвітлено методи машинного навчання для контролю якості повітря. Наведено сучасні та актуальні методи, які мають свої переваги та недоліки. Задля кращого розуміння, ці методи порівнюються між собою при моніторингу та контролі різних видів забруднювачів та за різних умов. Розглядається також практичне застосування та поєднання методів для кращого результату.

**Ключові слова:** машинне навчання, дерево рішень, якість повітря.

### **ВСТУП**

Вплив якості повітря на здоров'я та довкілля визначається рівнем забруднювачів, що перебувають у повітрі. Машинне навчання відкриває нові можливості для контролю якості повітря шляхом прогнозування та моніторингу забруднювачів у повітрі. У роботі аналізується застосування методів машинного навчання, спрямованих на вирішення цієї проблеми. Висвітлено застосування алгоритмів машинного навчання, включаючи регресійні, штучні нейронні мережі тощо; виконано порівняння їх ефективності у прогнозуванні різних видів забруднювачів за різних обставин. Також звертається увага на можливе поєднання цих методів для досягнення більш точних та комплексних результатів у контролі якості повітря. Застосування методів машинного навчання для прогнозування рівнів забруднювачів допомагає розробляти ефективні стратегії контролю та зменшення негативного впливу на здоров'я та довкілля.

### **ОГЛЯД МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ**

Машинне навчання є доволі ефективним та потужним інструментом для контролю індексу якості повітря (AQI) та концентрації забруднюючих речовин у навколишньому середовищі. Для цього можуть бути використані різні методи, включаючи регресійні методи, дерева рішень, штучні нейронні мережі та інші [1].

Для прогнозування щоденних значень може бути використано метод регресії головних компонентів (PCR) і метод множинної лінійної регресії. Головні компоненти використовувалися в множинній лінійній регресії, щоб усунути колінеарність серед змінних предикторів, а також зменшити кількість предикторів. Регресія головного компонента дає кращу продуктивність для прогнозування AQI в зимовий сезон, ніж будь-який інший сезон. Недоліком цього підходу є використання лише метеорологічних параметрів під час прогнозування значення AQI, але при цьому не враховуються забруднювачі навколишнього повітря, які можуть спричинити несприятливий вплив на здоров'я.

Також можна виділити методи опорної векторної регресії (SVR) і регресії випадкового лісу (RFR) для прогнозування AQI і концентрації NO<sub>x</sub>. SVR показує кращу продуктивність у прогнозуванні AQI, тоді як RFR дає кращу продуктивність у прогнозуванні концентрації NO<sub>x</sub>.

При прогнозуванні PM<sub>2.5</sub> можна розглядати штучну нейронну мережу

(ANN), лінійну регресію (LR) і рекурентну нейронну мережу довгострокової пам'яті (LSTM). З цих алгоритмів LSTM дає найкращу ефективність для прогнозування високого значення PM<sub>2.5</sub> з прийнятною точністю.

В практичному ж застосуванні прогноз концентрації CO<sub>2</sub> у приміщенні можна використати для проактивного контролю систем вентиляції [2]. В цьому випадку може використовуватися моделі машинного навчання, включно з гребневою регресією, деревом рішень, випадковим лісом і багатошаровим перцептроном. Модель випадкового лісу при цьому є найточнішою. Дерево рішень є майже таким же точним, але потребує менше обчислювальних ресурсів.

Продовжуючи тему алгоритму випадкового лісу, можна додати, що він досить ефективно обробляє великі набори даних з високою точністю [3]. Це дуже простий, ефективний і легко інтерпретований метод. Перш за все, багато вихідних зразків (спостереження випадкової вибірки із заміною та вибіркою змінних ознак) навчального набору використовуються для створення різних дерев рішень (DT), а потім усі дерева об'єднуються для формування єдиного прогнозу.

Розглянемо наступний приклад [4]. Модель за методом випадкового лісу будується шляхом усереднення прогнозів із 500 дерев рішень/регресії. Для цієї метеорології використовуються висота планетарної межі, висота над рівнем моря, інвентаризація антропогенних викидів, землекористування, індекс рослинності, щільність доріг, щільність населення та час із 1601 станції протягом одного року. Результати моделі є цілком порівнянними або навіть вищими, ніж прогностична продуктивність хімічних транспортних моделей за менших обчислювальних витрат. У той час як для прогностичних характеристик метеорологічні фактори забезпечують 65% точності прогнозу (особливо вологість, температура та сонячне випромінювання), також демонструючи вищу ефективність прогнозування, коли погодні умови сильніші (тобто восени). У цьому прикладі антропогенні викиди (NH<sub>3</sub>, CO, органічний вуглець і NO<sub>x</sub>) виявляють меншу важливість, ніж метеорологія, і менша точність зареєстрована для регіонів з меншою щільністю станцій моніторингу. Тому точність залежить від складності мережі.

Поєднання розглянутих методів дозволить покращити результати передбачення. Гібридна система, заснована на поєднанні неконтрольованої кластеризації, штучних нейронних мереж (ANN) і ансамблів випадкового лісу (RF) і нечіткої логіки, використовується для прогнозування забруднюючих речовин за кількома критеріями. Використовуються погодинні дані за дванадцять років щодо CO, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, температури, відносної вологості, тиску, сонячної радіації, швидкості та напрямку вітру. Для повторної вибірки векторів даних виконується неконтрольоване кластеризування початкового набору даних. Моделювання ансамблю ANN при цьому виконується з використанням комбінації алгоритмів машинного навчання. Оптимізація продуктивності моделювання здійснюється за допомогою системи нечіткого висновку (FIS) на основі правил Мамдані (використовується для оцінки продуктивності кожної моделі), яка використовує зв'язки між параметрами, що впливають на якість повітря, а саме парникові гази (вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>),

оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ), частки  $\text{PM}_{2.5}$  та  $\text{PM}_{10}$ , оксиди сірки ( $\text{SO}_x$ ), озон  $\text{O}_3$ , метеорологічні умови (температура, відносна вологість, тиск, сонячна радіація, швидкість та напрямок вітру). Після повторної вибірки набору даних ансамблі штучних нейронних мереж із прямою передачею даних і випадкових лісів навчаються кластерним векторам даних. Модель оцінки є ефективною у контролі таких параметрів як  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_3$  і  $\text{SO}_2$ .

## **ВИСНОВКИ**

У сучасному світі, де якість повітря стає все більшою проблемою для здоров'я та довкілля, методи машинного навчання знаходять широке застосування для контролю та прогнозування рівнів забруднювачів. Ця стаття простежує різноманітні підходи, від регресійних методів до штучних нейронних мереж, вказуючи на їх переваги та обмеження в контексті моніторингу якості повітря. Порівнюючи їхню ефективність у прогнозуванні концентрацій різних забруднювачів та відповідності під різними умовами, ця стаття демонструє потенціал машинного навчання для розв'язання складних завдань моніторингу та контролю якості повітря.

Необхідність у використанні комбінації різних методів для отримання найточніших результатів стає очевидною, особливо у врахуванні різноманітних факторів, що впливають на якість повітря. Застосування машинного навчання в цій області відкриває можливості для розробки більш ефективних стратегій моніторингу та контролю забруднення повітря, сприяючи зменшенню негативного впливу на здоров'я людей та довкілля в цілому.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Patil R. M., Dinde H. T. & Powar S. K. (2020, August 8). A Literature Review on Prediction of Air Quality Index and Forecasting Ambient Air Pollutants using Machine Learning Algorithms. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2456-2165
- [2] Tien P. W., Wei S., Darkwa J., Wood C. & Calautit J. K. (2022) Machine Learning and Deep Learning Methods for Enhancing Building Energy Efficiency and Indoor Environmental Quality – A Review. *Energy and AI*, 100198
- [3] Hable-Khandekar V. & Srinath P. (2017). Machine Learning Techniques for Air Quality Forecasting and Study on Real-Time Air Quality Monitoring. *International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBE)*, 18095421
- [4] Rybarczyk Y. & Zalakeviciute R. (2018, November 15). Machine Learning Approaches for Outdoor Air Quality Modelling: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 12: 2570.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Козир О.В.*

УДК 621.317.7

А.С. Павлюченко, студентка гр. ПІ-21мп, к.т.н. Щербань А.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СИСТЕМА ОЦІНКИ СТРЕСУ ЗА НЕЧІТКОЮ ЛОГІКОЮ

**Анотація.** У наш час багато для кого стрес є актуальною проблемою, який заважає у повсякденному житті. В цій статті запропонована система оцінки рівнів стресу.

**Ключові слова:** стрес, оцінка, система, рівень.

### ВСТУП

Однією з найбільших проблем сучасного світу є стрес, який впливає на кожну людину у повсякденному житті. Стрес може бути корисним для людини у маленькій кількості, але його занадто велика кількість є надзвичайно шкідливою для життя людини. Ця шкода може проявлятися у найменших дрібницях, наприклад почала знижуватися працездатність на роботі або погіршуються відносини з іншими людьми, також наслідком стресу може бути розрив відносин і це наслідки тільки для дорослих. У дітей вплив стресу викликає погіршення навчання. Тому для кожної людини важко визначити її рівень стресу, адже для когось неймовірний фактор стресу, для іншого не є взагалі проблемою. У цій статті запропонована система оцінки рівня стресу.

### СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ СТРЕСУ

Для оцінки рівня стресу буде запропонована наступна система оцінки та вимірювання. Запропонована система складається з декількох етапів. На першому етапі використовується методика анкетного типу та датчик серцевого ритму для отримання даних. Другий етап складається з оцінки отриманих результатів, для роботи з одержаними даними буде використовуватися нечітка логіка. Рішення будуть прийматися за допомогою системи нечіткої логіки, яка дозволяє прийняти остаточне рішення на інтервальних значеннях вхідних величин. Оптимальність використання такої системи обумовлена складністю прогнозування змін факторів впливу та взаємозв'язків між ними.

Тому перші етапи роботи системи виглядають наступним чином. Спочатку в спокійній обстановці учасники опитування проходять тест, що складається з одного блоку в якому 40 запитань (цей перелік запитань складається з подій, що відбулися протягом одного року). Події, зазначені в запитаннях, можуть мати різний характер (наприклад, зміни у здоров'ї сім'ї, зміна місця навчання, свята, Різдво, Новий рік, дні народження). Також під час тестування учасники отримують датчик серцевого ритму, який вони надягають на руку для вимірювання частоти серцевих скорочень під час тесту. Отримані дані з датчика надсилаються на комп'ютер, а результат від анкетного тестування, які вручну вносяться оператор до комп'ютер після обробки і розшифрування за допомогою ключа анкетного тестування, де відбувається подальша оцінка рівня стресу. Комп'ютер використовує дані, отримані від оператора та від датчика, і аналізує їх за допомогою системи нечіткої логіки.

Розроблювана система зображена на структурній схемі на рисунку 1.

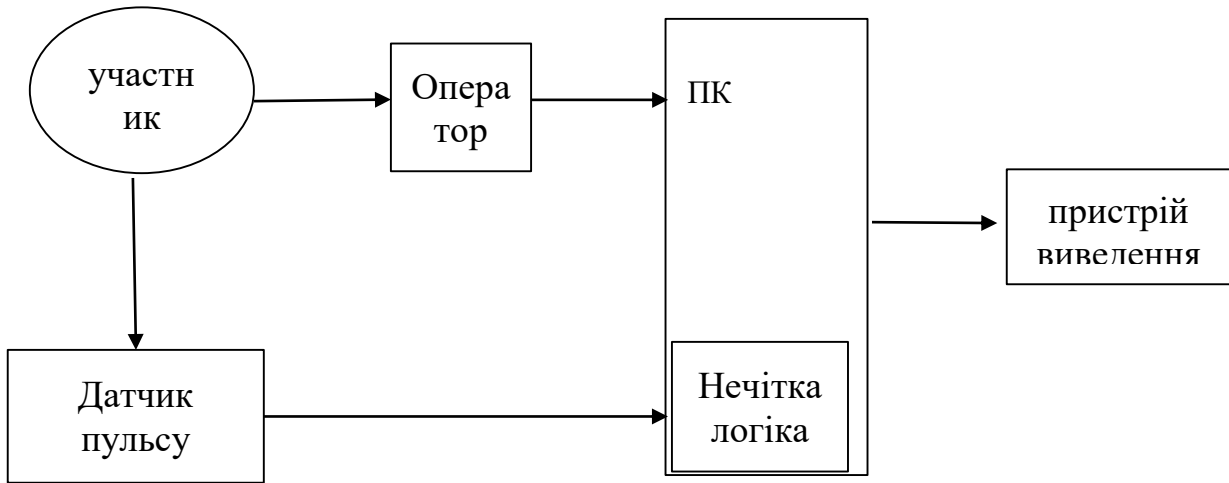


Рисунок 1. Структурна схема системи

### СИСТЕМА ОЦІНКИ

Система прийняття рішень в першому наближенні складається з двох частин:

1. Перша частина - блок попередньої обробки вхідних даних, в якому використовується тільки класична (чітка) логіка.

2. Друга частина - блок системи нечіткого виведення. Тут використовується тільки апарат нечіткої логіки.

Процедура прийняття рішень за допомогою нечіткої логіки складається з трьох етапів:

- блок фазифікації
- блок рішень
- блок дефазифікації

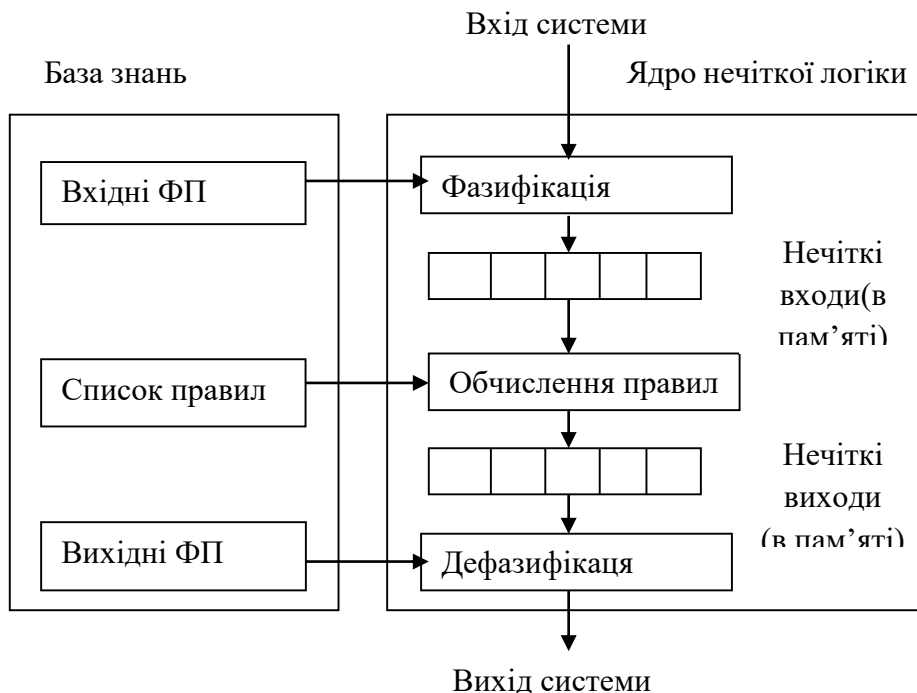


Рисунок 2. Принцип роботи системи з нечіткою логікою

Блок фазифікації перетворює виразні значення, виміряні на виході об'єкта управління, на нечіткі значення, описувані лінгвістичними змінними бази знань.

Блок ухвалення рішень використовує нечіткі похідні правила (if-then), що зберігаються в базі знань, для перетворення нечітких вхідних даних на необхідні керівні впливи, які також є нечіткими. Для обчислення правил використовують нечіткі вхідні дані, отримані від блоку фаз, і правила, що зберігаються в базі знань.

Завершальний етап алгоритму НЛ є дефазифікація, тобто перетворення нечіткої інформації, що міститься у вигляді довірчих значень для лінгвістичних термінів, в однозначні значення. У цьому й полягає процес дефазифікації.

## **ВИСНОВОК**

Можна зрозуміти, що стрес несе велику шкоду життю людини тому важливо правильно визначати його рівень і для цього пропонується використовувати запропоновану систему, яка не тільки якісно ай компетентно оцінить отримані дані. Ми маємо оцінювати дані з точки правильності і точності будемо використовувати нечітку логіку, яка дає змогу при широкій вибірці отримати найбільш точні результати оцінки рівнів стресу.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Методи оцінки стресу з нечіткої логіки / А.П Павлюченко // Погляд у майбутнє приладобудування: Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 16-17 травня 2023р. К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. - С.237-239
- [2] О. Я. Кляпець, Б. П. Лазоренко, Л. А. Лепіхова, В. В. Савінов, «Методики вивчення повсякденного стресу і способів розв'язання кризових життєвих ситуацій», За ред. Т. М. Титаренко. – К. : Міленіум, 2009. – 120с.
- [3] Vitalii Larin, Oleksandr Solomentsev, Maksym Zaliskyi, Anastasia Shcherban, Yuliya Averyanova, Ivan Ostroumov, Nataliia Kuzmenko, Olha Sushchenko, Yurii Bezkorovainyi. PREDICTION OF THE FINAL DISCHARGE OF THE UAV BATTERY BASED ON FUZZY LOGIC ESTIMATION OF INFORMATION AND INFLUENCING PARAMETERS. 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). 3.10.2022, p.1-6
- [4] Anastasiia Shcherban, Volodymyr Ieremenko. COMPUTERIZED ELECTRICAL SUPPLY MONITORING SYSTEM FOR UNMANNED AIRCRAFT. Transactions on Aerospace Research. 2022. Vol.5(264), pp.71-80. DOI: 10.2478/tar-2020-0022. ISSN 2545-2835.
- [5] Anastasiia Shcherban, Volodymyr Ieremenko. UAV flight safety system based on fuzzy logic. Transactions on Aerospace Research. 2020. Vol.4(261), pp.71-80. DOI: 10.2478/tar-2020-0022. ISSN 2545-2835

*Наук.керівник - к.т.н. Щербань А.П*

**УДК 504.064**

*М.В. Петров, студ. гр. ПІ-32мп, Ю.О. Гаврилюк, студ. гр. ПІ-321мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗГАСАННЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ КОНТРОЛІ ВИРОБІВ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Анотація.* В роботі проведено дослідження впливу частотно-залежного згасання ультразвукового сигналу при контролі виробів з полімерних матеріалів. Отримані аналітичні залежності амплітудних та фазових співвідношень при застосуванні імпульсного ультразвукового сигналу та тіньового методу контролю. Показано, що частотно-залежне згасання суттєво впливає на результат контролю виробів з полімерних матеріалів. Визначено, що вибором тривалості ультразвукового імпульсу можливо значне зменшення амплітудних та фазових похибок.

**Ключові слова:** ультразвуковий контроль, частотно-залежне згасання, полімерні матеріали.

### **ВСТУП**

При контролі полімерних виробів тіньовим методом, наприклад, товщини, коли випромінюючий і приймаючий перетворювачі знаходяться по різні сторони контрольованого виробу (виріб, який контролюють проходить між перетворювачами) можна використовувати як безперервний, так і імпульсний режими роботи випромінюючого перетворювача. Однак, при використанні безперервного ультразвукового сигналу виникає значна похибка вимірювання.

Результуючий сигнал на перетворювачі, що приймає ультразвуковий сигнал представляє собою суперпозицію сигналів, які пройшли контрольований виріб, багаторазово відбитих від поверхонь перетворювачів і поверхні контрольованого виробу.

Аналіз цього процесу показав [1], що амплітудні і фазові співвідношення сигналу на перетворювачі, що приймає, залежать як від товщини контрольованого виробу, так і від його положення між перетворювачами, тобто для забезпечення необхідної точності вимірювання необхідна жорстка стабілізація контрольованого виробу між перетворювачами. Цю вимогу практично неможливо виконати при контролі товщини виробу в реальному технологічному процесі, де мають місце вібрації і зміни натягу виробу з полімерного матеріалу, особливо при великих швидкостях руху. Таким чином, необхідно використовувати імпульсний режим, при якому виключаються похибки, обумовлені застосуванням безперервного режиму випромінювання. Розповсюдження імпульсного ультразвукового сигналу в шаруватих середовищах досліджувалось багатьма авторами, однак, розглядалися випадки проходження сигналу в безмежному середовищі із згасанням, або через тонку пластинку, згасанням в якій знехтували [2].

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою роботи є дослідження впливу частотно-залежного згасання ультразвукового сигналу на його амплітуду та фазовий зсув при контролі виробів з полімерних матеріалів.



## МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо проходження імпульсного ультразвукового сигналу через контрольований виріб з полімерного матеріалу товщини  $h$  з акустичним опором  $Z_2$ , який знаходиться в середовищі з акустичним опором  $Z_1$ . При цьому, якщо час проходження ультразвуковим імпульсом контрольованого виробу більший за тривалість імпульсу, то проходження сигналом контрольованого виробу відповідає розповсюдженню в безмежному середовищі. При контролі листових та плівкових полімерних виробів тривалість імпульсу перевищує час проходження імпульсом контрольованого виробу. В цьому випадку буде відбуватись багаторазове відбиття окремих складових імпульсу від меж контрольованого виробу та навколишнього середовища [3].

Ультразвуковий імпульс, що пройшов контрольований виріб може бути поданий наступним чином:

$$P_1(t') = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W(\omega)S(\omega)e^{j\omega t'} d\omega, \quad (1)$$

де  $S(\omega)$  - спектральна щільність зондувального імпульсу;

$W(\omega)$  - комплексний коефіцієнт проходження;

$t'$  - час з урахуванням запізнювання проходження контрольованого виробу ( $t' = t - h/c_2$ );

$c_2$  - швидкість розповсюдження ультразвуку в полімерному матеріалі.

Комплексний коефіцієнт проходження з урахуванням згасання може бути поданий у наступному вигляді:

$$W(\omega) = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \cdot e^{j\left(\frac{\omega}{c_2} + j\alpha(\omega)\right)h} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}\right)^2 \cdot e^{2j\left(\frac{\omega}{c_2} + j\alpha(\omega)\right)h}}, \quad (2)$$

де  $\alpha(\omega)$  - коефіцієнт згасання на частоті  $\omega$ , або

$$W(\omega) = (1 - R^2) \frac{e^{j\frac{\omega h}{c_2} - \alpha(\omega)h}}{1 - R^2 \cdot e^{2j\frac{\omega h}{c_2} - 2\alpha(\omega)h}}, \quad (3)$$

де  $R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$  - коефіцієнт відбиття від межі «контрольований виріб – навколишнє середовище».

Для обчислення виразу (3) розглянемо його у вигляді суми нескінченно спадаючої геометричної прогресії. Тоді ультразвуковий сигнал, що пройшов контрольований виріб, можна подати в наступному вигляді:

$$W(\omega) = (1 - R^2) \sum_{n=0}^{\infty} R^{2n} e^{-j\frac{\omega h}{c_2} + \alpha(\omega)h} e^{-2n\left(j\frac{\omega h}{c_2} - \alpha(\omega)h\right)}, \quad (4)$$

Як показали проведені досліди, ультразвуковий імпульс являє собою

дзвіноподібний імпульс, звуковий тиск якого дорівнює:

$$P(t) = P_0 \cdot e^{-\delta_0^2 t^2} \cdot e^{j\omega_0 t} \quad (5)$$

де  $\delta_0$  - параметр який характеризує форму обвідної і пов'язаний з тривалістю імпульсу  $\tau_0$  наступним співвідношенням  $\delta_0 = 2 \ln \sqrt{2} / \tau_0 = 1,67 / \tau_0$ ,  $\omega_0$  - частота заповнення імпульсу.

При цьому амплітуда обвідної ультразвукового імпульсу, що пройшов контрольований виріб, і фазовий зсув можуть бути записані як:

$$A = (1 - R^2) e^{-\alpha(\omega_0)h} \sqrt{\operatorname{Re} X^2 + \operatorname{Im} X^2} \quad (6)$$
$$\Delta\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} X}{\operatorname{Re} X} \cdot$$

Проведені розрахунки показали, що збільшення тривалості ультразвукового імпульсу дозволяє зменшити похибку вимірювання амплітуди ультразвукового імпульсу на 3,6%, а фазового зсуву – на 6,2% при безконтактному контролі полімерних матеріалів товщиною до 4 мм при несучій частоті зондувального ультразвукового імпульсу 85 кГц.

## ВИСНОВКИ

Результатом роботи є отримання аналітичних залежностей, які дозволяють оцінити вплив частотно-залежного згасання в полімерних матеріалах на амплітуду та фазовий зсув імпульсного ультразвукового сигналу при застосуванні тіньового методу неруйнівного контролю.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Цапенко В.К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / В.К. Цапенко, Ю.В.Куц. – К.: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2010. – 448 с.
- [2] Беркута В.Г. Ультразвукова дефектоскопія: навч. посіб. / В.Г.Беркута, С.М.Валевич. – Кіровоград: ТОВ «Імекс-ЛТД», 2006. – 177 с.
- [3] Єременко В.С. Ультразвуковий безконтактний контроль товщини полімерних плівок / В.С. Єременко, Н.М. Защепкіна, В.Г. Здоренко, С.В. Барилко // Датчики, прилади та системи: матеріали доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції, 20 – 24 вересня. – Черкаси. – ЧДТУ, 2021. – С. 24-26.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Здоренко В.Г.*

**УДК 006.91-531.7**

*О.М. Поліщук, студентка гр. ПІ-з21мп, д.т.н., доц. Єременко В.С.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОКСИМЕТРІВ КРОВІ**

**Анотація.** Розглянуті елементи метрологічного забезпечення оксиметрів крові, такі як повірка та калібрування. Проаналізовано метрологічні вимоги до оксиметрів, робочих еталонів для їх повірки та засобів їх калібрування. Ідентифіковано джерела невизначеності під час калібрування. Обрано засоби повірки, які дозволяють її проводити на місці експлуатації оксиметрів для оптимізації роботи сучасних повірочних лабораторій.

**Ключові слова:** оксиметр, пульсоксиметр, повірка, калібрування, невизначеність.

### **ВСТУП**

Сатурація крові киснем вважається ключовим показником загального стану організму. Оксиметр або пульсоксиметр, який вимірює цей показник, використовується в різних умовах, де оксигенація організму нестабільна, включаючи відділення інтенсивної терапії, операційну, відновлення та невідкладну медичну допомогу.

Оксиметр (пульсоксиметр) – це медичний прилад або система для безінвазивного вимірювання рівня оксигенації капілярної крові, що ґрунтується на властивості гемоглобіну, який пов'язаний (HbO<sub>2</sub>) і непов'язаний (Hb) з киснем, поглинати світло різних довжин хвиль. З оксигенованим гемоглобіном більше поглиблюється інфрачервоне світло (довжина хвилі 940 нм), тоді як деоксигенований гемоглобін більше поглиблює червоне світло (довжина хвилі 640 нм). Шляхом вимірювання різниці між кількістю світла, яке поглинається під час систоли та діастоли, пульсоксиметр визначає артеріальну пульсацію. Рівень сатурації обчислюється як відношення кількості HbO<sub>2</sub> до загальної кількості гемоглобіну та виражається у відсотках.

### **МЕТА**

Оксиметри входять до переліку законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці. Отже, метою цієї роботи є:

- аналіз методик та засобів (робочі еталони та допоміжне обладнання) для повірки оксиметрів,
- пошук методів калібрування робочих еталонів для повірки,
- розробка методики калібрування робочих еталонів для повірки оксиметрів,
- визначення основних складових невизначеності вимірювання під час калібрування.

### **ОСНОВНА ЧАСТИНА**

Оксиметри належать до сфери законодавчо регульованої метрології відповідно до [1] стаття 3 п. 1: забезпечення захисту життя та охорони здоров'я громадян.

Відповідно до [2] передбачена категорія 56. Пульсоксиметри. На повірку відповідно до [3] та ДСТУ 8893:2019 [4] передбачено 1,4 години.

За принципом встановлення оксиметри можуть бути: стаціонарні (Рис. 1 а), поясні (Рис. 1 б), наручні (з пальцевим сенсором або без) (Рис. 1 в), пальцевий

(Рис. 1 з), дитячий пульсоксиметр на стопу (Рис. 1 д) та канал вимірювання сатурації у складі монітору пацієнта (Рис. 1 е).



Рисунок 1 Види пульсоксиметрів за особливостями експлуатації

Стаціонарні та поясні мають високу точність, наручні та пальцеві не є високоточними і не застосовуються в лікарнях. Їх використовують як контрольне обладнання, яке має невелику похибку.

За принципом роботи пульсоксиметрів, вони мають спільну основу: в них є два світлодіоди (LEDs), червоний та інфрачервоний, які випромінюють світло різної довжини хвилі (відповідно 660 та 940 нм), і є фотодіод (ЗВ), який реєструє світло від цих двох діодів. Подальша обробка цієї інформації відбувається в мікропроцесорі або мікрокомп'ютері.

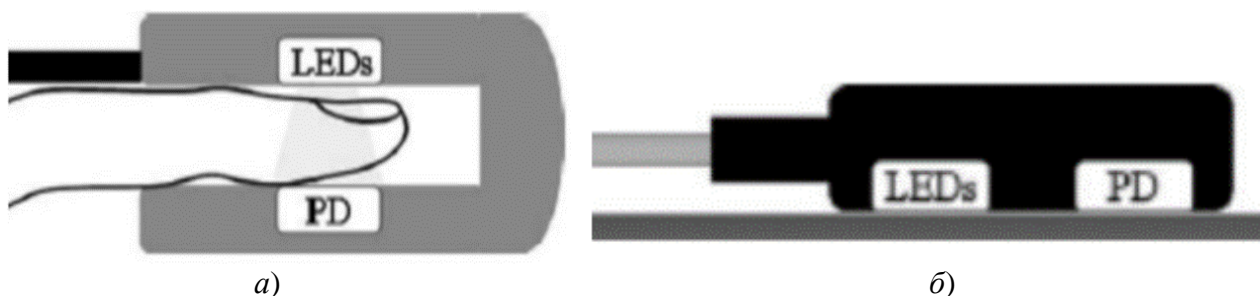


Рисунок 2 Типи пульсоксиметрів за принципом вимірювання, а – трансмісійний пульсоксиметр, б – рефракційний пульсоксиметр.

Частина світла, яка проходить через тканини, не поглинаючись, потрапляє на фотодетектор датчика та, відповідно, генерує сигнали зі стабільним та неппульсуючим компонентом "постійного струму" (DC) і пульсуючим компонентом "змінного струму" (AC). Коефіцієнт  $R$  – це співвідношення між пульсуючим та неппульсуючим поглинанням червоного та інфрачервоного світла.

В мікропроцесорі пульсоксиметра цей коефіцієнт використовується для визначення  $SpO_2$  на основі калібрувальної кривої, яка побудована емпірично шляхом вимірювання коефіцієнта  $R$  у здорових добровольців, у яких рівень сатурації коливався від 100% до приблизно 70%. Емпіричність калібрувальної кривої є основною причиною, чому не існує первинного еталона калібрування для пульсоксиметрії [6]. Пульсоксиметри використовують специфічні для виробника  $R$ -криві для виведення та відображення насиченості. Ця  $R$ -крива є запатентованим алгоритмом, який використовує кожен виробник для перетворення оптичних сигналів з датчика пульсоксиметра в значення насиченості. Отже, неможливо створити єдиний еталон калібрування, який був би точним для всіх пульсоксиметрів. Незважаючи на відсутність первинного еталона калібрування, існує кілька способів протестувати точність пульсоксиметра. Один з поширених методів - використовувати функціональний тестер. Функціональні тестери імітують оптичні сигнали від людини і порівнюють покази пульсоксиметра зі значенням насиченості, що відомо. Інший спосіб протестувати точність пульсоксиметра – використовувати відкалібрований палець. Відкалібровані пальці – це штучні пальці (фантоми), які були відкалібровані за відомим значенням насиченості. Відкалібровані пальці можна використовувати для тестування всієї системи пульсоксиметра, включаючи датчик, кабель та монітор. Але для практичного застосування такі еталони не є зручними. На ринку представлено декілька виробників робочих еталонів – тестерів для пульсоксиметрів, наприклад Contec medical або Fluke biomedical (Рис. 3). Вони відрізняються кількістю запрограмованих  $R$ -кривих різних виробників.

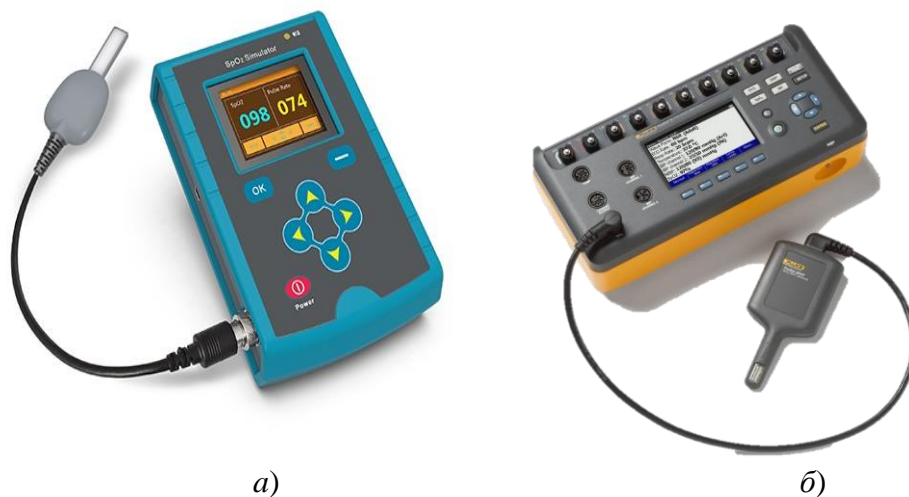


Рисунок 3 Тестери для калібрування пульсоксиметрів, а – Contec medical, б – Fluke biomedical.

Для практичного застосування під час перевірки більш універсальним є прилад Fluke biomedical, оскільки дозволяє одночасно повірити і пульсоксиметри і кардіомонітори. Згідно з [4] діапазон відтворюваних значень  $R$ : 0,4-1,675 з відносною розширеною невизначеністю  $\leq 0,5\%$ . Діапазон відтворюваних значень сатурації  $SpO_2$ : 70-100%, відносна розширена невизначеність відтворення калібрувальної кривої в одиницях  $R$ , не більше ніж 0,5%. Наведені тестери в свою чергу мають бути відкалібровані. Існує два способи калібрування – оптичне, шляхом вимірювання

сили червоного і інфрачервоного світла та електричне, тобто калібрування електричних сигналів, які подаються на ці групи світлодіодів. Розроблено методику калібрування, яка ґрунтується на електричному методі. Як робочі еталони застосовуються високоточний осцилограф з 14-ти розрядним аналого-цифровим перетворювачем Agilent DSO-X2014A та мультиметр Transmille 8104.

Основними джерелами невизначеності вимірювання під час калібрування визначено точність робочих еталонів, застосованих під час калібрування та стабільність електричних сигналів, які надходять на випромінювальні діоди, яка враховувалась як середньоквадратичне відхилення повторюваності.

## ВИСНОВКИ

За результатами аналізу принципів дії оксиметрів та методики повірки [4] визначено вимоги до точності робочих еталонів для повірки та вимоги до їх калібрування. Розроблено методику калібрування. Проведено її валідацію для калібратора Fluke biomedical. Розширена невизначеність калібрування складала 0,15% для калібрувальної кривої в одиницях  $R$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 р. № 1314-VII: станом на 1 січ. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>.
- [2] Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці : Постанова Каб. Міністрів України від 04.06.2015 р. № 374 : станом на 1 січ. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/374-2015-п#Text>.
- [3] Про затвердження Норм часу, необхідного для проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації : Наказ М-ва екон. розвитку і торгівлі України від 21.12.2015 р. № 1719 : станом на 14 квіт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0051-16#Text>.
- [4] ДСТУ 8893:2019. Метрологія. Пульсоксиметри. Методика повірки. Чинний від 2020-10-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 10 с.
- [5] Про затвердження Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів : Наказ М-ва розвитку економіки, торгівлі та сіл. госп-ва України від 10.08.2020 р. № 1518. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1000-20#Text>.
- [6] Biomedical Testing Equipment Solutions | Fluke Biomedical. URL: [https://www.flukebiomedical.com/sites/default/files/resources/Prosimspot\\_whitepaper\\_nosuchthing\\_A\\_W.PDF](https://www.flukebiomedical.com/sites/default/files/resources/Prosimspot_whitepaper_nosuchthing_A_W.PDF) (дата звернення: 27.11.2023).

*Науковий керівник - д.т.н., доцент Єременко В.С.*

УДК 535.016

А.Ю. Романенко, студентка гр. ПІ-21мп, PhD, ст. вик. Дорожнинська Г.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ НЕРОЗЧИННИХ ДОМІШОК У ВОДІ ЗА УМОВИ ВИНИКНЕННЯ ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

**Анотація.** У даній статті розглянуто питання виявлення та визначення концентрації нерозчинних домішок у воді. Розглянуто модель ефективного середовища та виконано чисельне моделювання на основі експериментально отриманих даних показників заломлення суспензії. Виконано розрахунки об'ємних часток наночастинок оксиду кремнію у воді для двох різних концентрацій – 0,25 мг/мл та 1,06 мг/мл. Результати моделювання відрізняються від заданих концентрацій, що пов'язано з процесами конгломерації та осідання частинок.

**Ключові слова:** плазмонний резонанс, нерозчинні домішки, наночастинки, чисельне моделювання, вода.

### ВСТУП

Виявлення нерозчинних домішок у воді має вирішальне значення для забезпечення водних ресурсів та охорони навколишнього середовища. Найбільш перспективними для досліджень і впровадження в широку практику для контролю якості води визнано оптичні сенсори, в яких вимірювані характеристики світла (інтенсивність поглинання, відбиття, люмінесценція і тд.) змінюються із присутністю зв'язаного аналіта.

Актуальним є напрям наукових досліджень і технологічних розробок для кількісного та якісного визначення нерозчинних домішок у воді сенсорами на основі плазмонного резонансу. Плазмонний резонанс – це фізичне явище, яке виникає при взаємодії світла з металевими наночастинками та на поверхні провідників. Дане явище застосовується в сенсорних системах, оскільки зміни в плазмонному резонансі можуть бути використані для визначення хімічних і фізичних характеристик речовин.

Дана робота присвячена моделюванню ефективного середовища з використанням значень показника заломлення суспензії (наприклад, води ( $H_2O$ ) та оксиду кремнію ( $SiO_2$ )).

### МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є визначення концентрації наночастинок оксиду кремнію, що присутні у воді у вигляді колоїду з використанням чисельного моделювання ефективних середовищ.

### МОДЕЛЬ ЕФЕКТИВНОГО СЕРЕДОВИЩА

Водну суспензію з твердими нанорозмірними частинками можна розглядати як модельну гетероструктуру, що складається з рідкої матриці і твердофазного дисперсного наповнювача. Знаючи значення відносної діелектричної проникності для матриці та наповнювача можна визначити їх відсоток в структурі. Найбільш широко поширені підходи до опису цієї системи – це моделі Максвелла-Гарнета і Бруггемана, дійсні для середовищ з хаотичним розподілом наповнювача в матриці. Оскільки обрано систему з досить низькою концентрацією частинок, то для колоїдних систем з низьким вмістом цих частинок краще використовувати теорію Максвелла-Гарнета. Вона базується на

теорії Максвелла, що описує розсіяння світла в дисперсних системах і враховує взаємодію світла з частинками в розсіюючій системі, при цьому ми припускаємо, що концентрація частинок досить низька, і взаємодія між ними слабка. Теорія Бругемана зазвичай використовується для більш концентрованих дисперсних систем, де взаємодія між частинками може бути значною. Вона використовується при вищих концентраціях частинок. Отже, якщо у нас система з низькою концентрацією наночастинок, тож теорія Максвелла-Гарнета може бути більш відповідною для нашого дослідження.

В рамках моделі Максвелла-Гарнета середовище має діелектричну проникність, пов'язану з діелектричною проникністю компонентів за виразом (1).

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_2}{\varepsilon + 2\varepsilon_2} = f \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2}, \quad (1)$$

де  $f$  – об'ємна частка наночастинок в суспензії,  $\varepsilon$  – відносна ефективна діелектрична проникність;  $\varepsilon_1$  і  $\varepsilon_2$  – відносний ефективний діелектрик проникності речовин наночастинок і матриць відповідно. Отже, відповідно до поставленої задачі, необхідний контроль низьких концентрацій наночастинок у воді за допомогою методу поверхневого плазмонного резонансу та обґрунтування чисельного методу моделювання ефективних середовищ для розрахунку концентрацій.

### ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Знаючи показники заломлення води ( $H_2O$ ) та оксиду кремнію ( $SiO_2$ ), можна розрахувати концентрацію розчину за формулою Максвелла-Гарнета та порівняти результати з вихідними даними.

Значення показників заломлення отримано з бази даних [1]. Обираємо необхідні сполуки – в нашому випадку це  $SiO_2$  та  $H_2O$  та знаходимо їх оптичні параметри для довжини хвилі 650 нм, що використовується у вітчизняних приладах серії “Плазмон”.

В таблиці наведено дані для двох концентрацій  $SiO_2$ , що отримані експериментально з використанням приладу “Плазмон-6”, робота якого базується на явищі поверхневого плазмонного резонансу. Об'єктом дослідження були вода дистильована з різним вмістом нерозчинної домішки на прикладі дрібнодисперсного оксиду кремнію у вигляді колоїдного розчину. Досліджувані концентрації оксиду кремнію 0,25 та 1,06 мг/мл.

Згідно формули Максвелла-Гарнета (1), ефективні показники заломлення переводимо в діелектричну проникність.

Для цього:

$$\varepsilon = n_{\text{eff}}^2. \quad (2)$$



Таблиця 1 Ефективні показники заломлення та діелектрична проникність  $H_2O$  та  $SiO_2$  в різних концентраціях

Речовина	$n_{eff}$	$\epsilon$
$SiO_2$	1,4565	2,1214
$H_2O$	1,3314	1,7726
$SiO_2$ 0,25 мг/мл	1,33199	1,7742
$SiO_2$ 1,06 мг/мл	1,33233	1,7751

З формули Максвелла-Гарнета (1) знаходимо значення  $f$  – об’ємна частка наночастинок в суспензії:

$$f = \frac{\epsilon - \epsilon_2}{\epsilon + 2\epsilon_2} \cdot \frac{\epsilon_1 + 2\epsilon_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \quad (3)$$

Підставляємо у формулу відповідні значення. Розрахунок для концентрації 0,25 мг/мл –  $f_1 = 0,0048$  мл/мл; для 1,06 мг/мл –  $f_2 = 0,0076$  мл/мл. Таким чином, знаходимо об’ємну частку для даних кварцу плавленого [2].

Наводимо показник заломлення для  $SiO_2$  для даних кварцових нанорозмірних плівок. Середнє значення показника заломлення такого кварцу дорівнює 1,4669. Переводимо цей показник в діелектричну проникність за формулою (2) – 2,1517. Рахуємо об’ємну частку для даних кварцової нанорозмірної плівки. Для концентрації 0,25 мг/мл –  $f_3 = 0,0045$  мл/мл; для 1,06 мг/мл –  $f_4 = 0,0075$  мл/мл.

Проводимо розрахунки для даних кварцу кристалічного. В результаті отримаємо для концентрації 0,25 мг/мл –  $f_5 = 0,0029$  мл/мл, а для концентрації 1,06 мг/мл –  $f_6 = 0,0075$  мл/мл.

Переводимо всі значення  $f$  з мл/мл в мг/мл, приймаючи значення густини оксиду кремнію для наночастинок - 2,634 г/см<sup>3</sup>[3].

Таблиця 2 Об’ємна частка наночастинок в мг/мл

$f_n$	$f$ , мл/мл	$f$ , мг/мл
$f_1$	0,0048	12,6
$f_2$	0,0081	20
$f_3$	0,0045	11,9
$f_4$	0,0075	19,8
$f_5$	0,0029	7,6
$f_6$	0,0075	19,8

## ВИСНОВОК

Отож, показано можливість застосування моделі ефективного середовища

для розрахунку концентрацій колоїдів, на прикладі оксиду кремнію у воді. Використовуючи отримані експериментальні дані та бази даних показників заломлення, виконано розрахунки з використанням підходу Максвелла-Гарнета об'ємних часток наночастинок у воді для двох різних концентрацій – 0,25 мг/мл та 1,06 мг/мл. Результати моделювання відрізняються від заданих концентрацій, що пов'язано з процесами конгломерації та осідання частинок.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1]RefractiveIndex.INFO Refractive index database [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://refractiveindex.info/> – Заголовок з екрану.
- [2]Jonsson U., Fagerstam L., Ivarsson B. Real-time biospecific interaction analysis using surface plasmon resonance and a sensor chip technology // *BioTechniques*. – 1991. – Vol.11 – P.620-627.
- [3]Задачник Литвин В.А. [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://eprints.cdu.edu.ua/> – Заголовок з екрану.

УДК 535.016

А.Ю. Романенко, студентка гр. ПІ-21мп, PhD, ст. вик. Дорожнинська Г.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ СЕНСОРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НЕРОЗЧИННИХ ДОМІШОК У ВОДІ

**Анотація.** У роботі наведені результати численного моделювання чутливості сенсора на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР) для низьких концентрацій нерозчинних домішок водних наносуспензій діоксиду кремнію та оксиду заліза, які відрізняються оптичними властивостями. Показано перспективи досліджень визначення методом поверхневого плазмонного резонансу низьких концентрацій нерозчинних домішок у воді з високою чутливістю. Запропоноване вдосконалення сенсора для визначення нерозчинних домішок у воді дозволило підвищити чутливість з 7,3 мкВ/NTU до 73 мкВ/NTU для оксиду заліза та знизити межу детектування у 8,3 рази з 205 NTU до 24,7 NTU.

**Ключові слова:** поверхневий плазмонний резонанс, нерозчинні домішки, вода, чутливість, межа детектування.

### ВСТУП

Використання сучасних технологій і високочутливих сенсорів дозволяє збільшити точність визначення будь-яких домішок у воді. Актуальним питанням є проведення якісного та кількісного аналізу наявності нерозчинних домішок у питній воді, що в свою чергу вимагає наявності вимірювальних систем для дослідження суспензій і колоїдних систем, їх характеристик (дисперсність, концентрація).

Існуючі методи контролю концентрації і дисперсності суспензій дозволяють визначати розміри наночастинок і розподіл їх за розмірами. Найбільш практичне застосування отримали методи, засновані на застосуванні розсіювання світлового потоку, оптичної та електронної мікроскопії, ультразвукової та електроакустичної спектрометрії, ядерного магнітного резонансу та ін. Для визначення концентрації колоїдних розчинів застосовують метод дегідратації суспензії, що має суттєвий недолік, як руйнування суспензії в процесі дегідратації. Кондуктометричні методи зазвичай недостатньо інформативні, так як вимірювана провідність може бути однаковою для певних типів суспензій. Більшість методів також вимагають значних витрат часу та підготовки досліджуваного зразка для аналізу.

Оптичні сенсори та на основі наноматеріалів можуть бути використані для виявлення найменших змін у хімічному складі води. Альтернативним методом дослідження водних суспензій є оптичний метод на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР) [1]. Були проведені дослідження водних суспензій з домішками з розмірами частинок менше мікрона [2] та визначено вплив різних концентрацій наночастинок від 2 до 50 мкг/мл у дистильованій воді на величину відгуку сенсора на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР).

У питній воді часто присутні такі нерозчинні домішки як оксид кремнію та оксид заліза, перевищення концентрації яких не відповідає нормативам якості. Автори статті [3] стверджують, що межа детектування ППР-сенсорів при рівні шуму базової лінії на рівні 3 кутові секунди становить для наночастинок оксиду кремнію 115 мкг/мл, а для оксиду заліза 38,5 мкг/мл, що відповідає значенням каламутності води 885 NTU та 296 NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Наведені величини каламутності значно перевищують допустимі межі каламутності встановлені вітчизняним законодавством.

## МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження можливості контролю низького вмісту нерозчинних домішок у воді з високою чутливістю та низькою межею детектування методом поверхневого плазмонного резонансу.

## МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для визначення низьких концентрацій домішок необхідно зменшувати межу детектування, яка пропорційна рівню шуму у вимірювальній системі. Одним з технічних прийомів зменшення рівня шуму є усереднення результату вимірювання та зменшення рівня шуму до величини 0,5 кутових секунд (відповідно 1,5 мВ на виході сенсора). Проте цього недостатньо, оскільки чутливість ППР-сенсора з довжиною хвилі збудження 850 нм становить 56,3 (мкВ·мл)/мкг, або 7,3 мкВ/NTU, що забезпечує межу детектування 205 NTU.

Тому нами було запропоновано підвищити чутливість ППР-сенсора для визначення нерозчинних домішок у воді шляхом збільшення довжини хвилі збудження поверхневих плазмонів та застосування діелектричної підкладки сенсора з матеріалу, що має менший показник заломлення, ніж у прототипі [3]. Довжину хвилі було збільшено у 1,8 рази з 850 нм до 1550 нм, а показник заломлення зменшено з 1,6085 (скло флінт марки Ф1) до 1,444 (кварцове скло марки КУ-2). Довжина хвилі була обрано з ряду довжин хвиль комерційно доступних напівпровідникових малопотужних лазерів. Чисельне моделювання впливу зміни довжини хвилі на положення ППР та форму характеристики відбиття було проведено за методикою [4, 5] для оксиду заліза. Розраховані характеристики відбиття для довжин хвиль 850 нм та 1550 нм наведено на рисунку 1, з якого видно, що перехід у більш довгохвильову область спектру не тільки збільшує діапазон вимірювання резонансного кута, а також зменшує похибку вимірювання точного кутового його положення через звуження характеристики.

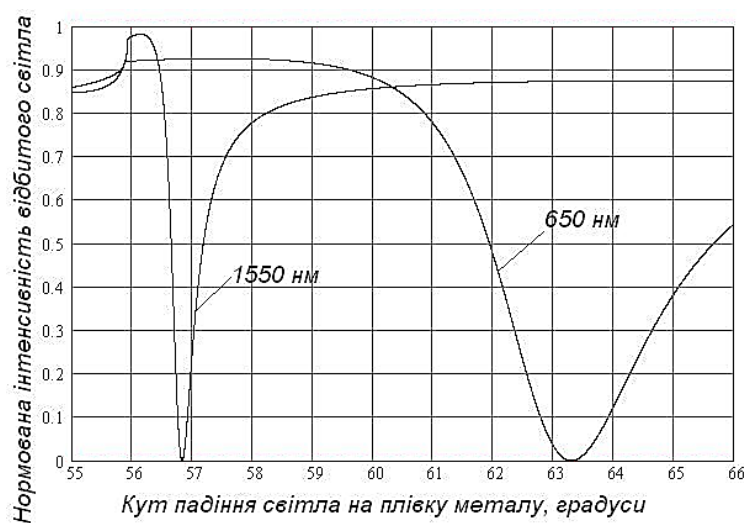


Рисунок 1. Розраховані характеристики відбиття ППР для довжин хвиль збудження поверхневих плазмонів 850 нм та 1550 нм у дистильованій воді

Розрахунок чутливості виконували для режиму вимірювання «на схилі», коли робоча точка під час вимірювання часового зсуву характеристики відбиття

знаходиться не в мінімумі, а на лівому схилі у місці, де найбільша крутизна, тобто похідна функції має найбільше значення. Для порівняння розрахунків виконували і для довжини хвилі 650 нм, оскільки ця довжина хвилі широко застосовується у наукових дослідженнях, пов'язаних з ППР, й використана у роботі [2]. Розрахована чутливість ППР-сенсора до зміни показника заломлення (RIU – refractive index unit) досліджуваного середовища при збільшенні довжини хвилі з 850 нм до 1550 нм зросла у 1,7 рази з 771 В/RIU до 1328 В/RIU, а при збільшенні довжини хвилі з 650 нм до 1550 нм зросла у 5,6 рази з 236 В/RIU до 1328 В/RIU. При рівні шумової доріжки величиною 0,5 кутових секунди (відповідно 3,2 мВ на виході сенсора) чутливість ППР-сенсора з довжиною хвилі 1550 нм становить 500 (мкВ·мл)/мкг або 66 мкВ/NTU, що забезпечує межу детектування 48,5 NTU. При застосуванні підкладинки з кварцу чутливість можна підвищити на 10% до 550 (мкВ·мл)/мкг (73 мкВ/NTU), а рівень шуму знизити до 1,8 мВ через меншу крутизну схилу характеристики відбиття і більший її питомий кутовий зсув. Застосування кварцової діелектричної підкладинки та довжини хвилі збудження поверхневих плазмонів 1550 нм забезпечує межу детектування 24,7 NTU. Розрахована величина межі детектування у 8,3 рази менша за величину для прототипу.

## ВИСНОВКИ

В результаті запропоноване вдосконалення ППР-сенсора для визначення нерозчинних домішок у воді дозволило підвищити чутливість на порядок з 56,3 (мкВ·мл)/мкг (7,3 мкВ/NTU) до 550 (мкВ·мл)/мкг (73 мкВ/NTU), межу детектування знизити у 8,3 рази з 26,7 мг/л (205 NTU) до 3,2 мг/л (24,7 NTU). Показано перспективи досліджень визначення методом поверхневого плазмонного резонансу низьких концентрацій нерозчинних домішок у воді з високою чутливістю.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] S. A. Maier. *Plasmonics: Fundamentals and Applications*. New York, U.S.A: Springer, 2007.
- [2] H.V. Dorozinska, G.V. Dorozinsky, V.P. Maslov, «Promising method for determining the concentration of nano-sized diamond powders in water suspensions», *Functional Materials Journal (FMJ)*, Vol. 25, Issue 1, p. 158-164, 2018.
- [3] V.P. Maslov, G.V. Dorozinsky, H.V. Dorozinska, «Modeling the SPR-sensor response to low concentrations of water nanosuspensions», *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, Vol. 3 Issue 8, p. 2007-2011, 2017.
- [4] V. I. Chegel, "Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> structures using surface plasmon resonance spectroscopy", *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, vol. 4, no. 4, pp. 301-306, 2001.
- [5] R. M. A. Azzam, and N. M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized Light*. North-Holland Publishing Company, 1977.

*Наук. керівник – PhD, ст. вик. Дорожинська Г. В.*

## УДК 621.311

*С.В. Руденко, студ. гр. ПІ-21мп, Р.С. Завгородній, студ. гр. ПІ-21мп,  
А.М. Мелкумов, студ. гр. ПІ-21мп, К.Я. Мушкет, аспірант*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### ОСЦИЛОГРАФІЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ІМПЕДАНСУ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

**Анотація.** В роботі наведено результати дослідження експлуатаційних параметрів сонячних панелей на основі методу вимірювання імпедансу за допомогою осцилографу. В дослідженнях використано двоканальний цифровий осцилограф типу TEKTRONIX TDS 1002, який дозволяє не тільки отримувати осцилограми сигналів в реальному часі, але і зберігати їх на електронному носії в формі рисунків і таблиць EXCEL. Наступна обробка отриманих результатів вимірювання дозволила визначити імпеданс, активний і реактивний опір сонячної панелі. Дані результати отримані на основі вимірювання як амплітуди, так і фази сигналу. Вимірювальний сигнал синусоїдальної форми із розмахом до 2,5 В подавали від генератора звукової частоти. Визначення імпедансу дозволяє виявляти приховані дефекти сонячної панелі і прогнозувати початок процесу її деградації, наслідком чого є зменшення коефіцієнту корисної дії панелі.

**Ключові слова:** імпеданс, сонячна панель, фотоелектричний сонячний елемент.

#### ВСТУП

Вимірювання імпедансу надає важливу інформацію про частотні залежності електричних параметрів досліджуваних об'єктів, зокрема фотоелектричних сонячних елементів, наноматеріалів, клітин рослин та інших біологічних організмів тощо [1-3].

Для вимірювання імпедансу застосовують змінний сигнал малої амплітуди. Окрім спеціалізованих приладів і систем (імпедансометрів) доцільним для цих вимірювань є використання цифрового осцилографу. Лабораторний стенд на основі генератора низьких (звукових) частот та цифрового осцилографу дозволяє проводити ефективні вимірювання імпедансу сонячних панелей.

#### МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є впровадження осцилографічного методу для вимірювання імпедансу сонячних панелей.

#### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Лабораторний стенд на основі генератора низьких (звукових) частот та цифрового осцилографу дозволяє проводити ефективні вимірювання імпедансу сонячних панелей. Частоту вимірювань обирають такою, щоб сигнал не мав спотворень форми.

Напругу на ланках дільника, який утворює вимірювальний резистор 1 кОм і сонячна панель знімають двома каналами осцилографу одночасно. Сигнали при цьому мають відмінності не тільки за амплітудою, але і за фазою, що можна пояснити впливом ємнісної складової імпедансу сонячної панелі. Активну складову утворює шунтовий опір, який складається із послідовного з'єднання опорів сонячних елементів. Для кремнієвої панелі із номінальною напругою 24 В таких кількість сонячних елементів дорівнює 60. Осцилограми сигналів на виході генератора (канал 1) і резисторі дільника (канал 2) наведені на рисунку 1.

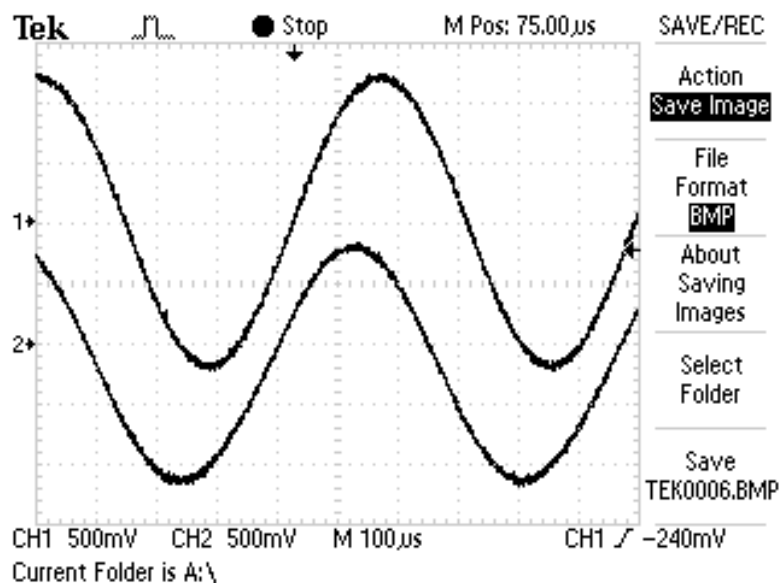


Рис.1. Напряга на виході генератора (канал 1) і після проходження сонячної панелі (канал 2)

Аналіз осцилограм (Рис. 1) надає такі параметри сигналів:

- розмах напруги генератора 2,46 В;
- розмах напруги на вимірювальному резисторі 2,02 В;
- дійсна напруга генератора 870 мВ;
- дійсна напруга на вимірювальному резисторі 714 мВ;
- частота сигналу 1764 Гц;
- фазовий зсув сигналу на вимірювальному резисторі 20 мкс або 12,7 градуси.

В середовищі MULTISIM була розроблена модель, яка повторює роботу лабораторного стенду (Рис. 2).

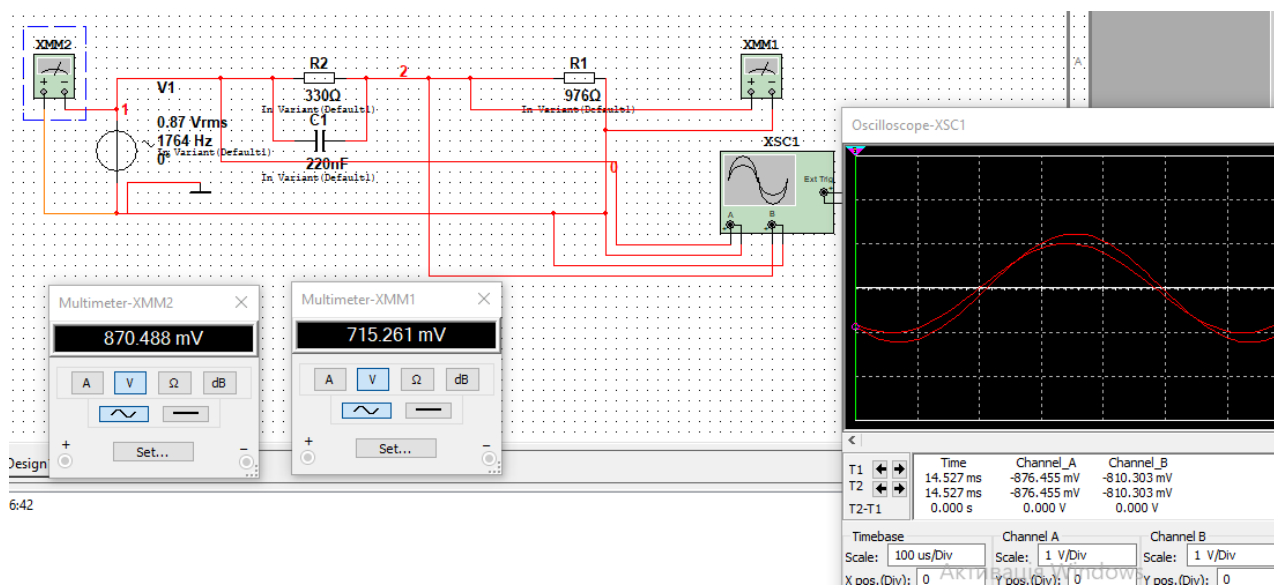


Рис. 1. Моделювання схеми вимірювання імпедансу сонячної панелі в середовищі MULTISIM

Результати розрахунку шунтового опору та електричної ємності сонячної панелі на основі закону Ома для комплексних величин збігаються із результатами моделювання в симуляторі.

За результатами досліджень імпедансу визначені такі параметри сонячної

панелі:

- шунтовий опір панелі 330 Ом;
- шунтовий опір сонячного елемента 5,5 Ом;
- електрична ємність сонячної панелі 220 нФ;
- електрична ємність сонячного елемента 1,32 мкФ.

Вимірювання проводили на частоті 1764 Гц.

Для інших частот були отримані значення вимірюваних величин, які на 10-15% відрізнялись від наведених вище. Цей факт спонукає до продовження досліджень в широкому спектрі частот вимірювального сигналу.

## **ВИСНОВКИ**

За результатами проведених досліджень практично доведена дієвість осцилографічного методу вимірювання імпедансу сонячних панелей. В результаті наступних розрахунків визначають також шунтовий опір і електричну ємність як сонячної панелі в цілому, так і сонячних елементів.

В ході досліджень була розроблена модель в симуляторі електронних схем MULTISIM, яка дозволила підтвердити результати лабораторних вимірювань імпедансу і наступних розрахунків шунтового опору та електричної ємності сонячної панелі та її елементів.

Продовження досліджень автори бачать у частотному аналізі імпедансу і отримання результатів спектральної імпедансометрії, що дозволить отримати дані про населеність рівнів та концентрацію носіїв в поверхневому шарі кремнію сонячних елементів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Bredar, A.R.C.; Chown, A.L.; Burton, A.R.; Farnum, B.H. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Metal Oxide Electrodes for Energy Applications. ACS Appl. Energy Mater. 2020, 3, 66–98.
- [2] Madianos, L.; Tsekenis, G.; Skotadis, E.; Patsiouras, L.; Tsoukalas, D. A highly sensitive impedimetric aptasensor for the selective detection of acetamiprid and atrazine based on microwires formed by platinum nanoparticles. Biosens. Bioelectron. 2018, 101, 268–274
- [3] Ghanavati, M.; Tadayon, F.; Bagheri, H. A novel label-free impedimetric immunosensor for sensitive detection of prostate specific antigen using Au nanoparticles/MWCNTs- graphene quantum dots nanocomposite. Microchem. J. 2020, 159, 105301.

*Наук. керівник –к.т.н., доцент Божко К.М.*



УДК 006.91-531.7

Т.Д. Савчук<sup>1</sup>, студентка гр. ПІ-з21мп, к.т.н., доц. Мокійчук В.М.,  
старший викладач Пащенко Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського, <sup>2</sup>Національний авіаційний університет

## КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ПОВІРКИ ТЕПЛОЛІЧИЛЬНИКІВ ЯК ОБ'ЄКТ КАЛІБРУВАННЯ

**Анотація.** Розглянуті питання калібрування комп'ютеризованої системи для повірки теплотічильників, побутових, промислових, індивідуальних та складових IoT, єдиних або складених. Метою даної роботи є дослідження метрологічних вимог до сучасних теплотічильників, засобів їх повірки, ідентифікація джерел невизначеності під час калібрування, пошук ефективних рішень задля оптимізації роботи сучасних калібрувальних лабораторій.

**Ключові слова:** калібрування, повірка, теплотічильник, теплообчислювач, невизначеність, комп'ютеризована система.

### ВСТУП

Теплові лічильники, також відомі як теплотічильники або теплові лічильники енергії, використовуються для вимірювання споживання тепла (теплової енергії) в системах опалення та гарячого водопостачання. Лічильники тепла в сучасному світі відіграють важливу роль у забезпеченні раціонального споживання енергоресурсів та зниженні впливу людини на навколишнє середовище. Ці пристрої не лише обліковують кількість теплової енергії, спожитої в житлових та комерційних приміщеннях, але й сприяють створеній інфраструктурі для ефективного контролю та управління енергоефективністю будівель.

За призначенням теплотічильники бувають трьох категорій: індивідуальні (використовуються в квартирах та приватних будинках усіх типів, де є централізоване опалення); загальнобудинкові (використовуються при обладнанні великих споруд – житлових висоток у комплексі чи окремих під'їздів, блоків); промислові (призначені для монтажу на виробничих об'єктах та у багатоквартирних будинках). Їхня головна відмінність – у об'ємі, що підраховується, величині та діапазоні вимірів теплоносія.

До основних компонентів теплових лічильників належать: теплоспоживач (теплообмінник), датчики температури, лічильник.

Теплотічильники належать до сфери законодавчо регульованої метрології відповідно до [1] стаття 3 п. 7: торговельно-комерційні операції та розрахунки між покупцем (споживачем) і продавцем (постачальником, виробником, виконавцем), у тому числі під час надання транспортних, побутових, комунальних, електронних комунікаційних послуг, послуг поштового зв'язку, постачання та/або споживання енергетичних і матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо).

Відповідно до [2] передбачена категорія 72. Теплотічильники та теплообчислювачі.

На повірку відповідно до [3] передбачено від 0,9 для єдиних до 16 годин для складених лічильників. Характеристики робочих еталонів визначено в джерелах [4], [5], [6].

### МЕТА

Теплотічильники входять до переліку законодавчо регульованих засобів

вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці. Вимірювальні канали лічильника сповіряються із застосуванням окремих робочих еталонів. Отже, метою цієї роботи є:

- аналіз методик та засобів (робочі еталони та допоміжне обладнання) повірки теплотлічильників,
- визначення основних складових невизначеності під час вимірювання,
- розробка методики калібрування робочих еталонів для повірки на прикладі установки АС-80,
- пошук оптимального рішення за критерієм час/кількість задіяного устаткування.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

За принципом обліку тепла лічильники опалення поділяються на чотири групи: механічні (рис. 1 а); ультразвукові (б); електромагнітні (в); вихрові (г).



а) механічний      б) ультразвуковий      в) електромагнітний      г) вихрострумний

Рисунок 1. Групи лічильників тепла за принципом обміну

Кожен з них має свої переваги та недоліки, принцип дії, сферу застосування. Теплотлічильники також можуть входити до високотехнологічної системи ІоТ, яка об'єднує всі комунікації будинку, офісу, виробничого приміщення, тобто бути складовою комплексного системного рішення щодо автоматизації управління різноманітними пристроями – «розумного будинку».



Рисунок 2.  
Теплотлічильник  
NIK 7071

Так, наприклад, ультразвукові теплотлічильники NIK 7071 (рис.2) застосовуються для обліку кількості теплоти в системах теплопостачання для житлових та комерційних приміщень, а встановлені в них комунікаційні модулі дозволяють організувати систему збору даних і здійснювати зняття показань приладу без доступу в приміщення, завдяки підключенню їх до автоматизованої системи комерційного обліку енергоресурсів.

За результатами аналізу джерел [4]-[6], визначені найсуворіші вимоги до робочих еталонів, що застосовуються під час повірки теплотлічильників 1-го класу, (табл.1). В проаналізованих джерелах відсутня інформація про методи вимірювання об'єму, але існуючі на сьогодні установки для повірки можуть реалізовувати два методи – безпосереднє вимірювання об'єму (проливний метод), або більш точний – ваговий метод (обчислення об'єму за масою води та її температурою).

Табл. 1 Вимоги до точності робочих еталонів, які застосовуються під час  
повірки

Характеристика	Теплолічильник		Робочий еталон для повірки	
	Для 1 класу	Для обчислювача	Для 1 класу	Для обчислювача
Максимальний тиск	Точність не нормується		1%	–
Температурний діапазон, $\Theta_{\max}$	0,1 К	0,1 К	0,1 К	0,042 %
Різниця температур, $\Delta\Theta$	0,5 К	0,3 К	0,1 К	0,042%
Об'єм теплоносія	$\pm 1\%$	$\pm 0,3\%$	0,33 %	0,1%
Витрата	Точність не нормується			

Вимоги, наведені в табл.1, реалізує комп'ютеризована система для повірки теплолічильників. Така система складається з контейнеру для води, набору компресорів для створення витрати, вагів з інтерфейсом RS-485 або USB, еталонних лічильників з інтерфейсом USB, термометрів з цифровим блоком та інтерфейсом RS-485, персонального комп'ютера з інтерфейсом RS-485 та USB для забезпечення передачі даних.

Було проведено пошук та аналіз робочих еталонів, які можна застосувати для калібрування такої системи (табл.2.).

Табл. 2 Робочі еталони для калібрування складових системи повірки теплолічильників

Характеристики РЕ для повірки		Характеристики РЕ для калібрування
Комп'ютеризована установка АС-80		
Метод повірки / робочі еталони	ваговий (вимірювання маси) – електронні ваги звірення (проливний) – індукційні витратоміри	Гирі класу точності не гірше F2 Лічильники витрати Siemens еталонні
Параметри вхідних каналів	4 активні (3,6 В) імпульсних входи з частотою до 250 Гц, 10 пасивних імпульсних входів (до 24В) з частотою до 100 Гц *	Генератор імпульсів зі стабільністю не гірше 10-6б наприклад Instek, AFG-2225
DN, що перевіряються, приладів	DN15, DN20, DN25, DN32, DN40, DN50, DN65, DN80, DN100	достатньо DN25, DN100
Мінімальна / максимальна відтворювана витрата	0,01 м3/год / 100,0 м3/год (+/- 10%)	Лічильники витрати Siemens еталонні
Діапазон зважування	от 10 до 1000 кг	Набір гир масою 1 – 20 кг
Клас точності	0,15% (ваговим методом) або 0,3% (методом злиття)	Гирі класу точності не гірше F2 Лічильники витрати Siemens еталонні 0,1%
<b>Термостати серії TCP – 0105</b>		
Температура термостатування	Від 0 до 100°C *	Термометр цифровий з термометром опору платиновим TOE-115, $U = 0,005^\circ\text{C}$
Межа основної абсолютної похибки	$\pm 0,05^\circ\text{C}$	Термометр цифровий восьмиканальний ТЦ-026-8 з комплектом термоперетворювачів опору Pt100 $U = 0,01^\circ\text{C}$
Нерівномірність температурного поля	Для температур не вище 60°C: $\pm 0,02^\circ\text{C}$ ; Для температур вище 60°C: $\pm 0,03^\circ\text{C}$	

Розроблено методику калібрування, яка містить три основних розділи, а саме: калібрування каналу вимірювання маси, об'єму температури. Калібрування манометра для перевірки теплолічильника під дією максимально допустимого тиску, рекомендовано проводити за окремою методикою, оскільки він не містить інтерфейсу для віддаленої передачі даних.

Основними джерелами невизначеності під час вимірювання визначено точність робочих еталонів, застосованих під час калібрування, стабільність витрати, стабільність температури носія (води) та невизначеність алгоритмів обчислення об'єму теплоносія або кількості теплоти за отриманими первинними даними. Найбільшим в невизначеність є внесок робочих еталонів. Це пояснюється тим, що об'єктом калібрування є високоточне обладнання, яке також є робочим еталоном.

## **ВИСНОВКИ**

За результатами аналізу методи повірки визначено три основні фізичні величини, які безпосередньо вимірюються під час повірки, а отже і вимірювальні канали, які потребують калібрування. Цими величинами є маса, об'єм та температура. Обрано робочі еталони на прикладі калібрування комп'ютеризованої системи АС-80, а саме гирі класу F2 або вище, еталонні лічильники виробництва Siemens з невизначеністю 0,1% та цифрові термометри з невизначеністю не гірше  $U = 0,05^{\circ}\text{C}$ .

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Редакція від 01.01.2022 р. № 1314-VII.
- [2] Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці» від 4 червня 2015 р. № 374.
- [3] Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України «Про затвердження Норм часу, необхідного для проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації» від 21.12.2015 № 1719, редакція від 14.04.2023.
- [4] ДСТУ EN 1434-1:2019. Теплолічильники. Частина 1. Загальні вимоги (EN 1434-1:2015 + A1:2018, IDT). На заміну ДСТУ EN 1434-1:2017 ; чинний від 2019-08-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 37 с.
- [5] ДСТУ 9111:2021. Метрологія. Теплолічильники складені. Методика повірки. Чинний від 2021-07-26. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
- [6] ДСТУ 9109:2021. Метрологія. Теплолічильники єдині. Методика повірки. Чинний від 2021-07-26. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 12 с.

*Науковий керівник - к.т.н., доцент Мокійчук В.М.*

УДК 620.179.14

С.В. Созонов, аспірант

Національна академія наук України “Інститут загальної енергетики НАН України”

## СПОСІБ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ МАГНІОСТРИКЦІЙНОЇ ДЕФЕКТΟΣКОПІЇ ПРИ КОНТРОЛІ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

**Анотація.** Вимоги безпечного та безперебійного функціонування енергетичного обладнання потребують постійного моніторингу його стану та дефектоскопії його найбільш відповідальних деталей. Ці завдання вирішуються за допомогою методів неруйнівного контролю (НК). В роботі розглянуто магніострикційний метод ультразвукової дефектоскопії та метод виявлення сигналів магніострикційного перетворювача на основі сумісного використання інформації про їх амплітуду і фазу.

**Ключові слова:** ультразвукова дефектоскопія, магніострикційний перетворювач.

### ВСТУП

Забезпечення стійкої безаварійної роботи енергетичного обладнання, завчасне виявлення дефектів на етапі зародження та спостереження за їх розвитком в процесі експлуатації потребує постійного удосконалення засобів та методів моніторингу, діагностики та контролю як окремих елементів, так і об'єктів енергетики в цілому [1]. Різноманіття завдань моніторингу енергетичного обладнання не дає змоги охопити все коло актуальних питань застосуванням одного-двох методів неруйнівного контролю (НК). Постійне ускладнення завдань контролю, розширення їх кола, використання в енергетичному обладнанні нових конструкційних матеріалів стимулює пошук нових методів і засобів контролю, удосконалення як апаратної, так і програмно-алгоритмічної частини сучасних засобів НК [2]. До нових методів НК належить метод магніострикційної дефектоскопії, який дає змогу виявляти дефекти малих розмірів в об'єктах складної геометрії, за їх високої температури та за умови контролю через сухий контакт між перетворювачем та ОК, ускладненим доступом до контрольованої ділянки.

Особливістю магніострикційних перетворювачів (МСП) є формування в об'єктах контролю (ОК) сферичної хвилі [2]. Внаслідок цього хвиля швидко загасає і виникає завдання аналізу інформаційних сигналів на фоні значних шумів.

### ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ І ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ МСП

Метою роботи є розроблення завадостійкого методу виявлення сигналів магніострикційних перетворювачів на основі сумісного використання інформації про амплітуду і фазу інформаційного сигналу, який дає змогу виявляти ці сигнали за відношення сигнал/шум близькому до одиниці і вище.

В тезах розглянуто амплітудо-фазовий спосіб виявлення ультразвукових сигналів МСП на фоні адитивного гауссового шуму.

В ОК випромінюється зондуєчий ультразвуковий сигнал у формі радіоімпульса з гауссовою обвідною. На виході магніострикційного перетворювача формується електричний сигнал, який є адитивною сумішшю  $U_3(t)$  і частотою  $f$  виду

$$u_3(t) = U_3(t) \sin 2\pi ft, \quad t \in [0, T_3], \quad (1)$$

де  $t, T_3$  – поточний час і інтервал часу, на якому задано  $u_3(t)$ ,  $T_3 = (1 \dots 5) f^{-1}$ .

На виході магнітострикційного перетворювача формується електричний сигнал  $u_{\text{мп}}(t)$  [3] як адитивна суміш інформаційної складової сигналу (відбитого від дефекту зондуючого ультразвукового сигналу) та гауссового шуму

$$u_{\text{мп}}(t) = k_{\text{ект}} u_3(t - \tau) + \xi(t), \quad t \in [0, T_a], \quad (2)$$

де  $k_{\text{ект}}$  – коефіцієнт електроакустичного тракту,  $k_{\text{ект}} \ll 1$ ,  $\tau$  – затримка прийнятого сигналу;  $\xi(t)$  – реалізація адитивного гауссового шуму з нульовим математичним сподіванням та дисперсією  $\sigma^2$ ;  $T_a$  – час аналізу сигналу,  $T_a \gg T_3$ .

Графічне зображення реальних сигналів  $u_3(t)$  та  $u_{\text{мп}}(t)$  подано на «Рис. 1».

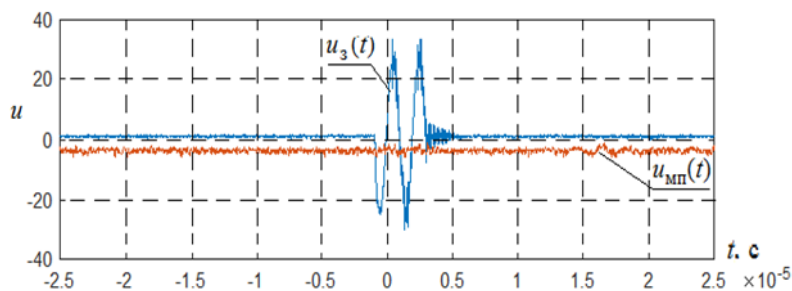


Рис. 1. Графічне зображення сигналів

Передбачається, що первинне оброблення сигналів у дефектоскопі забезпечує підсилення сигналу, його частотну фільтрацію, аналого-цифрове перетворення та отримання цифрового сигналу виду:

$$u_{\text{мп}}[j] = U_c[j] \cdot \sin(2\pi f j T_d - \varphi_c) + \xi[j] = A[j] \cdot \cos(\Phi[j]), \quad j \in [1, J], \quad (3)$$

де  $\varphi_c$  – початкова фаза сигналу,  $U_c(t)$  – обвідна інформаційної складової сигналу,  $A(t)$ ,  $\Phi(t)$  – відповідно обвідна та фаза вузькосмугового сигналу,  $T_d$  – період дискретизації,  $J$  – обсяг вибірки.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Опрацювання даних виконувались поетапно. Перший етап передбачав виконання дискретного перетворення Гільберта вихідної послідовності і отримання її гільберт-образу  $\tilde{u}_{\text{мп}}(t)$ .

На другому етапі отримані послідовності використовуються для обчислення оцінок дискретних характеристик вихідного сигналу – обвідної та фази в межах інтервалу  $[0, 2\pi]$

$$\hat{U}_{\text{мп}}[j] = K \sqrt{(u_{\text{мп}}[j])^2 + (\tilde{u}_{\text{мп}}[j])^2}, \quad j \in [0, J], \quad (4)$$

$$\hat{\varphi}_{\text{мп}}[j] = \arctg \tilde{u}_{\text{мп}}[j] / u_{\text{мп}}[j] + 0,5\pi \{2 - \text{sign} \tilde{u}_{\text{мп}}[j] (1 + \text{sign} u_{\text{мп}}[j])\}, \quad j \in [0, J], \quad (5)$$

На третьому етапі здійснюється визначення зваженої кругової результуючої довжини вектора в ковзному режимі вікном апертурою  $M$

$$r_w[j] = \frac{1}{M+1} \sqrt{\left( \sum_{k=j-M/2}^{k=j+M/2} \hat{U}_{\text{мп}}[k] \cdot \cos(\hat{\phi}[k]) \right)^2 + \left( \sum_{k=j-M/2+1}^{k=j+M/2} \hat{U}_{\text{мп}}[k] \cdot \sin(\hat{\phi}[k]) \right)^2}, \quad j = \frac{M}{2}, \left( J - \frac{M}{2} \right). \quad (6)$$

Для визначення статистики (6) використано фазовий зсув між сигналом  $u_{\text{мп}}[j]$  та сигналом-носієм сигналу збудження  $u_3[j]$

$$\hat{\phi}[j] = \hat{\Phi}_{\text{мп}}[j] - 2\pi f T_0 j, \quad j \in [0, J), \quad (7)$$

Ефективність застосування цього способу виявлення сигналів у порівнянні з відомим способом, що ґрунтується на незваженій  $r$ -статистиці, дає «Рис. 2» (зважена статистика (6) – червона крива, незважена статистика – синя крива).

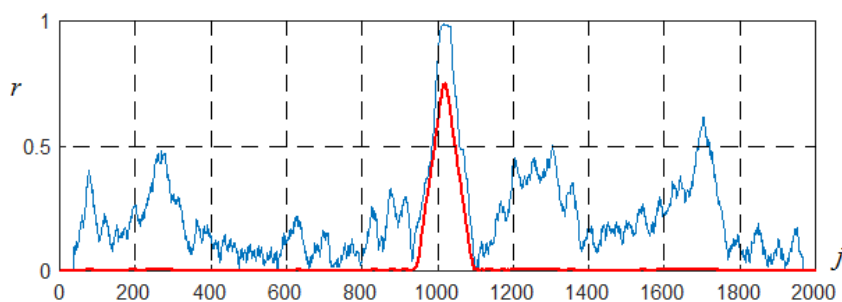


Рис. 2. Графічне зображення статистик.

Таким чином, метод виявлення сигналів ультразвукової дефектоскопії за аналізом статистики  $r_w[j]$  дає змогу розширити діапазон функціонування дефектоскопів в область менших відношень сигнал/шум.

## ВИСНОВКИ

Досліджено метод виявлення сигналів МП, які спостерігаються на фоні шуму, через аналіз зваженої кругової результуючої довжини вектора, яка визначається за фазовою характеристикою досліджуваного сигналу з урахуванням його обвідної. Реалізація такого методу не потребує повної копії сигналу. Метод доцільно застосовувати в ультразвуковому контролі матеріалів які характеризуються значним коефіцієнтом загасання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Бабак В.П. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Єременко та ін. // Монографія. – К.: ТОВ «Поліграф-Сервіс», 2015. – 512 С.
- [2] Богачев І.В. Дослідження магнітострикційного методу ультразвукової дефектоскопії енергетичного обладнання / Богачев І.В. Ковтун С.І., Куц Ю.В., Созонов С.В. та ін. // System Research in Energy.-2023.- 2 (73).-С: 72-82.
- [3] Куц Ю.В., Статистична фазометрія: наукова монографія / Ю.В. Куц, Л.М. Щербак. – Тернопільський державний технічний університет, 2009р. – 383 с.  
*Наук. керівники – д.т.н., ст. досл. Ковтун С.І., д.т.н., проф. Куц Ю.В.*

УДК 16.12-073

*О. Ю. Степанов, студент гр. ПІ-з21мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ У ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ**

*Анотація.* Розглянуті питання забезпечення кліматичних умов у вимірювальних лабораторіях. Метою даної роботи є освітлення необхідності забезпечення стабільних кліматичних умов у сучасних вимірювальних лабораторіях

**Ключові слова:** вимірювальні лабораторії, метрологічний нагляд, моніторинг кліматичних умов.

### **ВСТУП**

Актуальність проблеми підтримання стабільних кліматичних умов у вимірювальних лабораторіях визначається суттєвим впливом цього фактору на точність та надійність вимірювань, проведених в лабораторному середовищі а також для злічення результатів, отриманих у різних лабораторіях. Досягнення високої точності вимірювань має стратегічне значення в різних галузях, таких як наука, промисловість та медицина. В цій статі ми розглянемо кілька аспектів такі як надійність результатів вимірювань, точність стандартів і вимірювань, дослідження нових матеріалів і технологій, вплив на промисловість та стандарти якості, які підкреслюють актуальність цієї проблеми.

В лабораторіях проводяться вимірювання з високим ступенем точності, і навіть невеликі зміни в кліматичних умовах можуть вплинути на результати. Забезпечення стабільних умов стає критичним для отримання надійних та повторюваних результатів.

Багато лабораторій спеціалізуються на калібруванні та створенні стандартів вимірювань. Зміни в кліматичних умовах можуть впливати на стабільність цих стандартів .

У сфері досліджень нових матеріалів та технологій важливо забезпечити стабільні умови для вимірювань. Зміни температури, вологості чи інших параметрів можуть вплинути на властивості матеріалів та ускладнити порівняння результатів.

Таким чином, проблема підтримання стабільних кліматичних умов у вимірювальних лабораторіях є важливою з точки зору наукових досліджень, промислового розвитку та забезпечення якості продукції, і вимагає уваги для подальших досліджень та вдосконалення технологій у цій області.

Значення точних та стабільних умов для вимірювань та експериментів у вимірювальних лабораторіях не може бути недооціненим, оскільки воно безпосередньо впливає на результати досліджень, достовірність вимірювань та висновки, які можуть бути зроблені на їхній основі. Ось кілька ключових аспектів значення точних та стабільних умов:

- **Надійність і відтворюваність даних:** Стабільні умови дозволяють забезпечити надійні та повторювані результати вимірювань. Правильність результатів випробувань характеризує ступінь близькості середнього значення до істинного. Мірою правильності є систематична похибка, а оцінкою систематичної похибки є зсув. Відтворюваність результатів вимірювань при



випробуванні того самого об'єкта, виконані за однією методикою, можуть здійснюватися декількома ІВС

- Між лабораторні порівняння і стандартизація: Стабільні умови дозволяють лабораторіям отримувати результати, які можна порівнювати з результатами інших лабораторій. Це важливо для розвитку стандартів таких як ДСТУ EN ISO/IEC 17025 та забезпечення єдності вимірювань у великих наукових спільнотах та промислових галузях.

- Дослідження впливу факторів на вимірювання: Стабільні умови дозволяють вивчати вплив різних факторів на результати вимірювань. Це може бути важливо при вивченні властивостей матеріалів або ефектів змін умов на різних експериментах.

- Доведення висновків та подальші дослідження: Точні вимірювання та експерименти є фундаментом для висновків, які далі можуть служити основою для подальших досліджень та розвитку науки та технологій. Недостатня точність може призвести до неточних висновків та помилкових узагальнень.

- Якість продукції та технологічні розробки: У промисловості стабільні умови вимірювань є критичним фактором для забезпечення високої якості продукції та розробок нових технологій.

Загальною метою забезпечення точних та стабільних умов у вимірювальних лабораторіях є створення надійної основи для високоякісних досліджень, інновацій та виробництва.

## **ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЛІМАТУ У ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ**

Сучасні системи контролю та регулювання клімату у вимірювальних лабораторіях є високотехнологічними інженерними рішеннями, які дозволяють підтримувати стабільні та точні умови для проведення вимірювань та експериментів. Обговоримо кілька аспектів сучасних систем.

Автоматизовані системи контролю та моніторингу: Сучасні системи використовують автоматизовані засоби для нагляду та контролю навколишнього середовища. Це може включати в себе сенсори для вимірювання температури, вологості, тиску, та інших параметрів.

Системи зворотного зв'язку і регулювання: Автоматизовані системи використовують зворотний зв'язок для постійного моніторингу та аналізу параметрів клімату. За необхідності ці системи регулюють роботу обладнання для забезпечення стабільних умов.

Точність та чутливість сенсорів: Сучасні сенсори дозволяють вимірювати параметри з високою точністю та чутливістю. Це важливо для забезпечення високоякісних даних та точних результатів вимірювань.

Інтеграція з Інтернетом речей (IoT): Деякі системи можуть бути інтегровані з IoT, що дозволяє здійснювати моніторинг та керування віддалено через мережу Інтернет.

Енергоефективність та сталий розвиток: Сучасні системи також розроблені з урахуванням аспектів енергоефективності та сталого розвитку, зменшуючи витрати енергії та вплив на навколишнє середовище.

Програмне забезпечення для управління: Системи контролю та регулювання часто використовують спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє налагоджувати параметри, аналізувати дані та забезпечувати ефективну роботу.

Системи контролю та регулювання вимагають інтеграції різноманітних інженерних рішень та високої ефективності для забезпечення стабільних умов у вимірювальних лабораторіях. Ці системи грають ключову роль у забезпеченні надійних та точних результатів досліджень і вимірювань.

Використання спеціалізованого обладнання є важливою складовою для ефективного підтримання стабільних умов в вимірювальних лабораторіях. Це обладнання допомагає забезпечити точність та надійність умов для проведення вимірювань та експериментів. Ось кілька типів спеціалізованого обладнання, яке може використовуватися:

Кліматичні камери: Це обладнання дозволяє контролювати температуру, вологість, тиск та інші параметри оточуючого середовища. Камери можуть мати різні розміри та можливості, а деякі можуть навіть симулювати екстремальні умови.

Термостати та холодильники: Вони призначені для точного управління температурою, дозволяючи створювати стабільні та контрольовані умови для досліджень, де температура грає ключову роль.

Пристрої для регулювання вологості: Деякі дослідження потребують точного контролю вологості повітря. Спеціалізовані пристрої дозволяють підтримувати оптимальний рівень вологості для конкретних експериментів.

Системи фільтрації повітря: Забезпечення чистого повітря є важливим для уникнення зовнішніх впливів, таких як пил, частки та інші забруднення, які можуть впливати на результати експериментів.

Електронні системи вимірювань і контролю: Це включає сучасні датчики, контролери та системи автоматизації, які забезпечують постійний моніторинг та регулювання параметрів середовища.

Інфраструктурні системи (системи опалення, вентиляції та кондиціонування): Забезпечення правильної інфраструктури для підтримання температури та вентиляції також важливо для стабільних умов у лабораторіях.

Спеціалізовані устаткування для електромагнітних умов: У деяких лабораторіях, де проводяться вимірювання чутливі до електромагнітних впливів, використовують спеціалізовані екрануючі пристрої та устаткування.

Використання такого обладнання дозволяє лабораторіям створювати та підтримувати стабільні умови, необхідні для досягнення високої точності та надійності вимірювань та експериментів. Регулювання цих параметрів забезпечує консистентність та повторюваність результатів, що є ключовим для наукових досліджень та промислових застосувань.

## **ВИСНОВКИ**

У сфері вимірювальних лабораторій існує постійний напрямок на розвиток і вдосконалення технологій для підтримання стабільних та точних кліматичних умов. Дослідження та впровадження інноваційних рішень в цій області має

значущий вплив на якість вимірювань та наукових досліджень. Основні висновки можна сформулювати так:

**Автоматизація та Інтеграція Технологій:**

Автоматизація та інтеграція сучасних технологій, таких як IoT, AI, ML, дозволяють ефективно контролювати та оптимізувати параметри клімату в лабораторіях.

**Точність та Чутливість Датчиків:**

Використання високоточних датчиків і сенсорів дозволяє отримувати точні та надійні вимірювання, а також реагувати на найменші зміни в умовах оточення.

**Енергоефективність та Екологічна Орієнтованість:**

Застосування енергоефективних рішень та технологій дозволяє знижувати витрати енергії та мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

**Автоматичне Регулювання та Оптимізація:**

Використання автоматичних систем регулювання та оптимізації дозволяє підтримувати сталі та оптимальні умови, а також зменшує необхідність вручну втручатися у процес.

**Вплив наукових досліджень:**

Розвиток технологій для підтримання клімату в лабораторіях сприяє розвитку наукових досліджень у різних галузях, таких як космічні дослідження, фармація, електроніка та інші.

**Безпека та Надійність:**

Забезпечення безпеки та надійності вимірювань та експериментів вимагає використання передових технологій та заходів з захисту від зовнішніх впливів.

У цілому, інновації в технічних рішеннях для вимірювальних лабораторій не лише покращують якість досліджень, але і сприяють універсальному покращенню технологічних стандартів у великій кількості галузей. Впровадження цих технологій виправдовується підвищенням ефективності та достовірності вимірювань, що є критичним для наукового прогресу та розвитку нових технологій.

Закликаючи до подальших досліджень та вдосконалення систем підтримання клімату в лабораторіях, можна визначити кілька ключових напрямків, які варто розглядати для забезпечення ще вищого рівня ефективності та точності:

**Розвиток Нових Технологій Датчиків:** Зосередження на розробці та впровадженні ще більш точних, чутливих та стійких до зовнішніх впливів датчиків для вимірювання різних параметрів.

**Інтеграція Штучного Інтелекту та Машинного Навчання:** Використання AI та ML для розвитку систем, які можуть автоматично адаптуватися до змін у вимірювальному середовищі та підтримувати оптимальні умови.

**Екологічна Спрямованість та Споживання Енергії:** Дослідження та розвиток енергоефективних технологій для підтримання стабільних кліматичних умов, а також зменшення екологічного впливу лабораторій.

**Інновації в Області Вентиляції та Фільтрації:** Розробка ефективних систем вентиляції та фільтрації повітря для забезпечення чистоти та стабільності клімату в лабораторіях.

**Розширення Можливостей Віддаленого Керування:** Вдосконалення систем віддаленого керування, включаючи розробку додатків та інтерфейсів для зручного моніторингу та управління умовами.

**Стандартизація та Взаємодія:** Зусилля для встановлення стандартів у галузі підтримання клімату в лабораторіях для забезпечення єдності та взаємодії різних систем та обладнання.

**Глобальна Співпраця та Обмін Знаннями:** Залучення наукової та технічної громадськості до глобальних ініціатив та обміну знаннями для вирішення загальних викликів у сфері підтримання клімату.

**Нові Моделі Фінансування та Інвестування:** Розробка нових моделей фінансування для підтримки досліджень та впровадження інновацій у сфері підтримання клімату в лабораторіях.

Ці напрямки можуть сприяти подальшій еволюції систем підтримання клімату в лабораторіях, забезпечуючи не лише високу точність вимірювань, а й стійкість до зовнішніх факторів та максимальний внесок у науковий та технологічний прогрес.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT) с.70, 2019.
- [2] СТАНДАРТ ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА «НАЦІОНАЛЬНА АТОМНА ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧА КОМПАНІЯ «ЕНЕРГОАТОМ» Інженерна, наукова і технічна підтримка МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЕС. Організація робіт із забезпечення єдності вимірювань та порядок їх проведення СОУ НАЕК 011:2019 с.47, 2019.
- [3] Наказ Держводгоспу України від 01.03.2004 N 42 «ІНСТРУКЦІЯ щодо підготовки вимірювальних лабораторій до акредитації» с.25, 2019

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Володарський Є.Т.*

УДК 004.85

*Р.С. Теличко, студент гр. ПІ-32мп, к.т.н., доц. Козир О.В.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПОКАЗНИКИ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ КЛАСИФІКАЦІЇ

**Анотація.** У даній роботі розглянуто показники оцінювання якості вирішення завдання класифікації методами машинного навчання. У роботі приведено приклад використання метрик для оцінки ефективності класифікації моделлю двох наборів даних: набору із приблизно однаковим розподілом екземплярів класів та набору з кількістю позитивних екземплярів набагато менше негативних. Показано, що наведені метрики дозволяють краще оцінити ефективність класифікації створеної моделі.

**Ключові слова :** бінарна класифікація, метрики точності, confusion matrix, precision, recall, fscore.

### ВСТУП

Серед завдань машинного навчання класифікація посідає важливе місце і досить часто зустрічається на практиці. До практичних завдань класифікації можна віднести, наприклад, застосування спам фільтрів, класифікація зображень, задачі діагностування у медицині, розпізнання мови, визначення стану об'єкта за показниками давачів тощо.

Важливою складовою задач машинного навчання є метрики або показники точності роботи моделі. Що стосується задачі класифікації, то оцінка точності виконання класифікації вибраною моделлю є складним завданням. Існують різні показники точності. У даній роботі розглядаються широко вживані метрики та наведено приклад їх застосування.

### ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ

Задача класифікації полягає у наступному. Потрібно деякий об'єкт або процес віднести до певної категорії або типу або класу із наперед заданого набору екземплярів. Наприклад, потрібно визначити наявність на знімку злоякісної пухлини шляхом аналізу пікселів знімку (пухлина присутня, пухлина відсутня) або визначити поточну фізичну активність людини (стоїть, біжить, лежить тощо) на основі даних давачів розміщених на людині. Визначення злоякісної пухлини — це бінарна класифікація, оскільки набір класів містить тільки два екземпляри: пухлина присутня, пухлини немає. Визначення активності людини — це приклад мультикласової класифікації, оскільки можливих екземплярів більше двох.

Алгоритм або модель, яка буде виконувати класифікацію, навчають на відомій вибірці даних. Вибірка даних складається з матриці ознак  $X$  (незалежні змінні) та цільового вектору  $y$  або вектору міток. Стовпці матриці  $X$  — це ознаки об'єкту або його параметри. Рядки — це екземпляри об'єкту або реалізації кожної ознаки. Вектор міток  $y$  містить мітку для кожної реалізації, тобто екземпляр класу, який приписаний відповідному екземпляру об'єкту.

Точність класифікації екземплярів об'єкту до певного екземпляру класу міток визначається спеціальними метриками. Ці метрики визначають якість роботи моделі машинного навчання на нових для моделі даних. Метрики звичайно оцінюють якість моделі у діапазоні значень від 0 до 1.

У даній роботі розглянемо бінарну класифікацію, тобто коли кількість екземплярів класів міток — два. Клас який ми хочемо виявити — називають

позитивним класом або міткою. Протилежний клас — негативний. Кодують позитивний клас числом 1, а негативний — -1 або 0.

### МЕТРИКА ACCURACY (АКУРАТНІСТЬ, ТОЧНІСТЬ)

Найпростішою метрикою є ассурасу [1]. Ця метрика визначає частку правильно класифікованих екземплярів об'єктів у відношенні до усієї вибірки (1).

$$A(y, \hat{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} 1(y_i, \hat{y}_i). \quad (1)$$

де  $n$  — кількість екземплярів об'єкту;  $1(\hat{y}_i = y_i)$  - характеристична функція (2).

$$1(\hat{y}_i, y_i) = \begin{cases} 1, & \hat{y} = y \\ 0 & \hat{y} \neq y \end{cases}. \quad (2)$$

Можна узагальнити формулу (1). Як вже вказувалось вище, бінарна класифікація намагається віднести екземпляр об'єкту до позитивного або негативного класів. Результат класифікації конкретного екземпляру класу можна описати категорією вірності класифікації: вірна класифікація — *true* та невірна класифікація — *false*. Екземпляр класу може бути позитивним — *positive* та негативним — *negative*. Ці дві категорії, вірність класифікації та екземпляр класу, дають чотири можливі варіанти оцінки класифікації:

- *true positives (TP)* — вірно позитивний — кількість вірно віднесених екземплярів об'єктів до позитивного класу;
- *true negative (TN)* — вірно негативний — кількість вірно класифікованих негативних класів;
- *false positive (FP)* — невірно позитивний — кількість позитивно класифікованих класів, які насправді повинні бути класифіковані як негативні;
- *false negative (FN)* — невірно негативний — кількість негативно ідентифікованих класів, які насправді повинні бути класифіковані як позитивні.

Щоб візуалізувати отримані оцінки класифікації наявні системи машинного навчання будують таблиці спряженості [2] або таблиці похибок результатів класифікації (*confusion matrix*). Таблиця похибок складається із стовпців визначених класів та строк вірних класів (рис. 1, а).

Кожна комірка (рис. 1, а) зображає оцінку хибно класифікованих та вірно класифікованих класів.

На основі прийнятих позначень можна формулу (1) переписати із врахуванням вірності класифікації класу (3).

$$A = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}. \quad (3)$$

Перевагою цієї метрики є простота інтерпретації: більшим значенням величини  $A$  відповідає більша кількість правильно класифікованих екземплярів об'єктів, тобто вища точність. Найвища точність, коли усі екземпляри правильно класифіковані, досягається коли  $A = 1$ . Найгірша точність — усі неправильно класифіковані —  $A = 0$ .

Дана метрика має два недоліки:

1. дана метрика не може повністю вірно оцінювати точність класифікації коли кількість негативних та позитивних класів у тренувальній вибірці незбалансована, тобто, коли позитивних екземплярів значно менше кількості негативних. Наприклад, якщо у вибірці даних 99% знімків не мають зображень злоякісної пухлини, а 1% - має. Тоді, якщо наша модель завжди буде класифікувати зображення як негативні, то точність такого передбачення буде 0,99. Точність моделі надзвичайно велика, проте модель немає жодної можливості вірно виконувати передбачення;
2. метрика не дозволяє визначити які типи похибок найбільше робить класифікаційна модель. Похибки класифікації існують двох типів: I-го та II-го [3]. До похибок I-го типу належать похибки типу FP, коли модель невірно ідентифікує позитивний клас, тобто цільовий клас, який нам важливо визначити. Похибка II-го типу виникає у разі FN класифікації.

Щоб позбавитись від перелічених недоліків були розроблені наступні метрики *recall*, *precision*, *fscore* [3].

Метрика *recall* (повнота, чутливість),  $R$ , визначає частку вірно класифікованих позитивних класів у відношенні до загальної кількості дійсно позитивних класів у вибірці (4).

$$R = \frac{TP}{TP+FN}. \quad (4)$$

Метрика *precision* (точність),  $Pr$ , визначає частку вірно класифікованих позитивних класів у відношенні до загальної кількості передбачених позитивних класів (5).

$$Pr = \frac{TP}{TP+FP}. \quad (5)$$

Метрика *fscore* ( $f$ -міра),  $F1$ , ефективна у випадку нерівної кількості позитивних та негативних класів у тренувальній вибірці. Метрика визначає гармонічне середнє між метриками  $R$  та  $Pr$  (6). Гармонічне середнє, на відміну від арифметичного, наближається до найменшого із двох значень. Тому,  $F1$  буде наближатись до одиниці, якщо метрики  $R$  та  $Pr$  будуть прямувати до одиниці.

$$F1 = \frac{2}{\frac{1}{R} + \frac{1}{Pr}} = \frac{2 \cdot P \cdot R}{P + R}. \quad (6)$$

## ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ

Розглянемо рішення простої бінарної класифікації. Наприклад, потрібно класифікувати деяку подію яка має два можливих стани. Стан події залежить від значень деяких параметрів які контролюються давачами. Класифікацію будемо виконувати із допомогою бібліотеки *scikit-learn* [1]. Матриця похибок має структуру зображену на рис. 1, а.

Розподіл класів у вибірці складає: позитивних класів 67%. негативних — 33%. Як видно з рис. 1, б. що модель класифікувала класи майже у тій же пропорції.

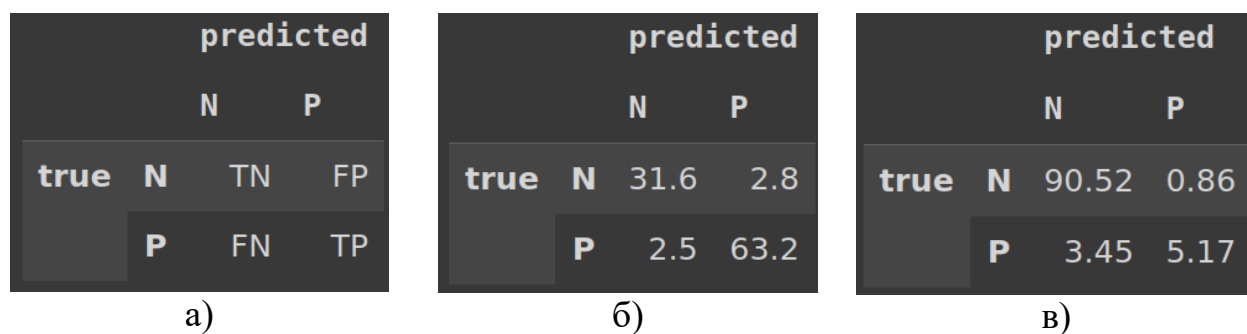


Рисунок 1. Матриця похибок. а) структура матриці похибок у бібліотеці sklearn; б) розрахунок на основі початкового набору; в) розрахунок на основі скороченого набору

Оцінимо результат бінарної класифікації якщо кількість позитивних класів набагато менша за кількість негативних. Нова вибірка зроблена на основі початкової вибірки із наступним розподілом класів: позитивних класів 9%, негативних — 91%. У табл. 1 наведено метрики визначені на основі двох наборів даних.

Таблиця 1. Розраховані метрики

<i>A</i>	94,7	93,9
<i>Pr</i>	95,7	71,4
<i>R</i>	96,3	50,0
<i>F1</i>	96,0	58,8

Як можна бачити із рис. 1 та табл. 1 нерівномірність екземплярів класів у навчальній вибірці не відслідковує метрика *A*, її значення теж саме. А інші метрики вказують, що нерівномірність класів при навчанні моделі призводить до значних похибок у передбаченні класів на нових, раніше не бачених екземплярах об’єкту.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] 3.3.2.2. Accuracy score / 3.3. Metrics and scoring: quantifying the quality of predictions. — Режим доступу: [https://scikit-learn.org/stable/modules/model\\_evaluation.html#accuracy-score](https://scikit-learn.org/stable/modules/model_evaluation.html#accuracy-score) — 27.11.2023 р.
- [2] Ting, K.M. (2011). Confusion Matrix. In: Sammut, C., Webb, G.I. (eds) Encyclopedia of Machine Learning. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8\\_157](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8_157)
- [3] Željko Đ. Vujovic, “Classification Model Evaluation Metrics” International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA), 12(6), 2021. <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120670>

*Наук. керівник –к.т.н., доц. Козир О.В.*



УДК 632.14 (075.8), 004.93'14

С.С. Черкаський, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., доц. Козир О.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ ХВОРОБ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

**Анотація.** В роботі наведено огляд методів розпізнавання хвороб сільськогосподарських культур. Проаналізовано основні переваги та недоліки наведених методів. Перспективними на цей час є методи розпізнавання хвороб на основі мультисенсорних систем із використанням для аналізу та передбачення методів машинного навчання, особливо використання нейронних мереж та глибокого навчання.

**Ключові слова:** розпізнавання хвороб, сільськогосподарські культури, візуальна діагностика, машинні методи.

### ВСТУП

Забезпечення потреб людства в їжі є і продовжує бути базовою необхідністю. Важливим завданням для суспільства є забезпечення її продовольчої безпеки, що включає в себе забезпечення стабільного вирощування сільськогосподарських (с/г) культур.

Значна частка продовольчої безпеки складається з своєчасного виявлення, усунення та попередження виникнення хвороб. Крім того, сільськогосподарські культури звичайно займають значні площі землі, через що важко організувати моніторинг цих площ, що у свою чергу є перешкодою своєчасного виявлення захворювання та шкідників. Тому для фахівців у аграрній сфері надзвичайно важливо мати інструменти завчасного виявлення ознак хвороб або їх збудників або виявлення ранніх етапів захворювання сільськогосподарських культур.

### МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ

Методи визначення хворих рослин можна поділити на такі типи :

- візуальна діагностика за симптомами;
- методи засновані на аналізі вібрацій;
- мікроскопічні методи;
- методи на основі використання алгоритмів машинного навчання тощо.

Візуальна діагностика за симптомами дозволяє виявити хвороби рослин за характерними для них зовнішніми ознаками. До зовнішніх ознак за якими можна виявити хвороби можна віднести:

- плямистості — зміна забарвлення, утворення плям та випадіння уражених частин;
- некроз — відмерлі частини тканин змінені за забарвленням;
- гnilі — розкладання рослинних тканин під дією патогенів; найчастіше уражені частини рослини які містять значні запаси води;
- в'янення — викликане нестачею вологи у клітинах рослин через відмирання судин тощо.

Поширеними методами візуальної діагностики є методи із використанням оптичних сенсорів. Сенсорно оглядова група включає в себе декілька методів виявлення хвороб, такі як гіперспектральні зображення, термічні зображення тощо. В більшості своєму, ця група методів використовує для діагностування електромагнітний спектр випромінювання, що дає необмежені можливості

отримання інформації про стан рослин, використовуючи різних ділянках спектру. Крім того, застосування матриць цих датчиків дозволяє також отримати просторовий розподіл спектральних даних, що значно збільшує об'єм інформації про можливі патогенні ознаки.

До недоліків можна віднести значну залежність від погодних умов, для деяких методів, аж до неможливості отримання будь-яких даних; необхідності, у деяких випадках, специфічного обладнанні та спеціалістів для обробки та отримання результатів сканування; значних економічних витрат на програмно-апаратні засоби. Також, використання тільки самих цих методів не дозволяє отримати з великою ймовірністю передбачення можливості виникнення хвороб у рослин.

Група методів заснованих на аналізі вібрацій використовується в основному для моніторингу шкідників. За допомогою сенсорів цього типу агрономи можуть фіксувати наявність шкідників на полях, їх кількість, тип. Та використовуючи тактики контролю екосистем, керувати їх популяцією.

Недоліки у цієї групи також наявні та суттєві. Статичність сенсорів дозволяє отримувати дані тільки в певній локації, необхідність у наявності спеціалістів для обробки отриманих даних та специфічному програмному забезпеченні, а також залежності від погодних умов. В деяких випадках через погодні умови дані можуть бути зіпсовані повністю і не придатні для використання.

Із мікроскопічних методів можна виділити метод молекулярного аналізу [1]. Метод виявлення хвороб, наприклад ПЛР, дозволяє точно виявляти характерні генетичні маркери патогенів у рослинах, що робить можливим ідентифікацію конкретних хвороб та їхніх варіантів. Для цієї групи характерна статичність датчиків, або проведення аналізу зібраних зразків в лабораторіях.

Головні переваги цієї групи це надійність результатів. Відсутність залежності від погодних умов. Великий спектр хвороб можуть бути виявлені цим методом, а також за допомогою даних з систем цієї групи, стає можливо попередити захворювання на етапі передбачення.

Серед недоліків груп висока вартість. Необхідність в спеціалістах для підтримки належного функціонування систем. Необхідність в спеціалістах для проведення тестів. Також до суттєвого недоліку можна віднести обмеження про просторового контролю. Тобто, проби можна взяти у декількох ділянках с/г угідь, що складатиме надзвичайно малу частину усіх посівів. Крім того збирання проб має часові обмеження через значної вартості збирання та обробки проб. Все це може призвести до неможливості раннього виявлення збудників, початку захворювання та розповсюдження патогенів.

Методи виявлення хвороб рослин із використанням алгоритмів машинного навчання почали використовуватись порівняно недавно і ще не набули широкого застосування [2]. Дана група методів базується на даних отриманих усіма попередніми методами та їх узагальненням.

Серед методів цієї групи можна виділити методи засновані на використанні нейронних мереж та методів глибокого навчання. Навчивши нейронну мережу за допомогою зібраних даних, будь-яким з попередніх методів, дослідник отримує модель, яка здатна виявляти прояви хвороб рослин, наприклад, на

знімках отриманих із використанням безпілотних повітряних засобів [3] або на основі супутникових знімків. Іншим варіантом застосування нейромереж є пошук аномалій даних, наприклад, зібраних з вібраційних сенсорів, розміщених на полі. Незважаючи на незначну кількість сенсорних даних їх можна аналізувати у режимі реального часу та виконувати інтерполяцію між точками збору даних. Це дає перевагу у порівнянні із іншими методами у швидкості виявлення як збудників хвороб так і хворих рослин та можливості мінімізувати витрати на встановлення великої кількості точок збору даних.

До недоліків, можна віднести необхідність, у деяких випадках, специфічного та коштовного програмно-апаратного забезпечення. Оскільки, на даний момент, відсутні відкриті бази знань рослинних хвороб, або пропрієтарні бази із значною кількістю накопичених даних, а також відсутність готових тренуваних нейромережевих моделей, це у деяких випадках може призводити до не достатньої точності розпізнавання наявності хвороб на місцевості. Проте, навіть наявні на цей момент результати, дозволяють значно покращити моніторинг захворюваності рослин на значних площах с/г угідь, а у поєднанні з існуючими методами значно підвищити точність виявлення хвороб.

## **ВИСНОВОК**

Узагальнюючи, можна зробити висновки, що незважаючи на обмежене на даний час застосування на практиці методів машинного навчання, що можна пояснити їх відносно недавньою появою, вже зараз отримані результати дозволяють зробити висновки, що методи цієї групи будуть мати домінуюче застосування у с/г для моніторингу значних площ угідь. А з урахуванням того, що апаратне забезпечення для збору, попередньої обробки, передавання та подальшого навчання нейромережевих моделей та їх застосування дешевшає з кожним роком, то дані методи будуть доступні і малим фермерським господарствам.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1]1. López MM, Bertolini E, Olmos A, Caruso P, Gorris MT, Llop P, Penyalver R, Cambra M. Innovative tools for detection of plant pathogenic viruses and bacteria. *Int Microbiol.* 2003 Dec;6(4):233-43. doi: 10.1007/s10123-003-0143-y. Epub 2003 Sep 11. PMID: 13680391.
- [2]2. Gurleen K. S., Rajbir Kaur. Plant Disease Detection Techniques: A Review. 2019 International Conference on Automation, Computational and Technology Management (ICACTION), 2019, pp. 34-38. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:199058001>
- [3]3. Abbas, A.; Zhang, Z.; Zheng, H.; Alami, M.M.; Alrefaei, A.F.; Abbas, Q.; Naqvi, S.A.H.; Rao, M.J.; Mosa, W.F.A.; Abbas, Q.; et al. Drones in Plant Disease Assessment, Efficient Monitoring, and Detection: A Way Forward to Smart Agriculture. *Agronomy* 2023, 13, 1524. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061524>

*Наук. керівник –к.т.н., доц. КозирО.В.*

УДК 621.317.7

*Д.С. Шаповалов, студент гр. ПІ-21мп, к.т.н., ст. викл. Щербань А.П.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КЛЮЧОВІ СТАТИСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ВНУТРІШНЬОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ У МЕДИЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ

**Анотація.** Ця стаття надає перелік основних статистичних параметрів для проведення внутрішнього контролю якості, а також розповідає про допоміжні правила та методи контролю, для виявлення помилок можливих на початковому етапі.

**Ключові слова:** Контроль якості, медична діагностика, статистичні параметри, контрольний матеріал, відтворюваність, аналіз

### ВСТУП

Системні принципи управління передбачають безперервний зв'язок керування та приймання інформації. Вчені вважають, що ефективно можливо управляти лише там, де є достатньо інформації. Особливу значимість має фундаментальний принцип зворотного зв'язку, відповідно якому інформація про функціонування керованої системи або її елементу передається суб'єкту управління, який таким чином отримує можливість коригувати управлінський процес. Відсутність зворотнього зв'язку призводить до зниження ефективності управління, навіть до повної втрати керованості.

Принцип зворотного зв'язку покладений в основу контролю якості у медичній лабораторній діагностиці, який розглядається як одна з провідних функцій управління. Контроль якості спрямований на визначення відповідності реальних характеристик організації медичної діагностики і цільовим критеріям якості.

### ОСНОВНІ СТАТИСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ВНУТРІШНЬОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

Статистичні параметри для кожного тесту, проведеного в медичній лабораторії, розраховуються виходячи з бази даних, отриманих під час регулярного дослідження контрольних матеріалів. Результати аналізу контрольних матеріалів різного рівня обробляються окремо. Отже, статистичні параметри та межі, отримані під час обробки цих даних, специфічні для кожного рівня концентрації і відображають стійкість роботи аналітичної системи в даному діапазоні концентрацій. Основоположними параметрами, використовуваними в клінічній лабораторії, є середнє арифметичне значення ( $\bar{x}$ ) і середньоквадратичне відхилення (S).

#### Розрахунок середнього арифметичного значення $\bar{x}$

Середнє арифметичне значення дає змогу оцінити реальний вміст досліджуваного аналіту в контрольному матеріалі даного рівня.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Де:

$X_i$  – результат конкретного вимірювання;  $n$  – загальна кількість вимірювань.

Для обчислення середнього арифметичного значення підсумуйте всі зібрані для певного рівня контрольного матеріалу дані та отриману суму розділіть на кількість оброблених результатів.

### Розрахунок середньоквадратичного відхилення

Середньоквадратичне відхилення (S) - це статистична характеристика, що дає змогу кількісно визначити величину розкиду вимірних показників навколо середнього арифметичного значення. Це ж поняття часто позначається терміном "відтворюваність". Для розрахунку середньоквадратичного відхилення використовують ті самі дані, що й для обчислення середнього значення. Ця характеристика дає змогу оцінити стійкість роботи аналітичної системи на даному концентраційному рівні. Відтворюваність тесту може бути високою (низьке середньоквадратичне відхилення) або низькою (високе середньоквадратичне відхилення). Причинами поганої відтворюваності можуть бути порушення технології або хімічна інтерференція. Якщо проблема спричинена порушенням технології, лабораторія зобов'язана виправити цю помилку.

Результати повторного вимірювання одного й того самого зразка повинні розташовуватися максимально близько один до одного. Це особливо важливо під час моніторингу стану пацієнтів з метою оцінки ефективності терапії або перебігу захворювання. Наприклад, у хворих у критичній фазі діабету дослідження вмісту глюкози може проводитися кожні 2-4 години. У цьому випадку особливо важлива висока відтворюваність, інакше достовірність тесту буде знижена. Якщо результати аналізу контрольних матеріалів погано відтворювані, дані вимірювання концентрації глюкози у пацієнтів у різний час доби можуть бути неприйнятними.

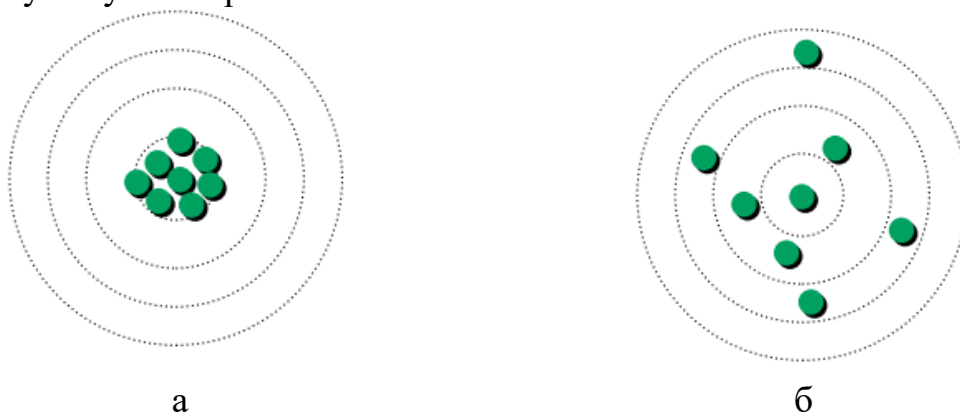


Рисунок 1. а) Приклад хорошої відтворюваності; б) Приклад поганої відтворюваності

Хоча більшість лабораторних комп'ютерних програм автоматично розраховують величину середньоквадратичного відхилення, дуже важливо розуміти, як це робиться.

Середньоквадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Де:

$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$  - сума квадратів різниці між індивідуальним значенням вимірювання і середнім арифметичним; n – загальна кількість вимірювань;  $x_i$  –

результат  $i$ -того вимірювання;  $\underline{X}$  – середнє арифметичне.

Величину середньоквадратичного відхилення можна також використовувати для поточної оцінки прийнятності роботи аналітичної системи.

Коефіцієнт варіації (CV) являє собою співвідношення середньоквадратичного відхилення і середнього арифметичного значення, виражене у відсотках.

Формула коваріації:

$$CV = \frac{S}{\underline{X}} * 100\% \quad (3)$$

Де:

S- середньоквадратичне відхилення;  $\underline{X}$ - середнє значення.

Застосування цієї статистичної характеристики робить більш зручним порівняння відтворюваності різних аналітичних процесів. Очевидно, що середньоквадратичне відхилення зазвичай зростає зі збільшенням концентрації аналіту, а використання коефіцієнта варіації дає змогу статистично нівелювати ці зміни.

Коефіцієнт варіації може бути також використаний для порівняння роботи різних приладів.

### ПОБУДОВА ДІАГРАМИ ЛЕВІ-ДЖЕННІНГСА

Діаграми Леві-Дженнінгса використовуються для контролю за довготривалою стабільністю аналізатора за допомогою контрольних зразків. Діаграми мають шкалу відповідно до прогнозованих діапазонів, визначених в аналізі. Контроль якості виконується на параметрах відповідно до налаштованого режиму контролю якості.

Для побудови діаграми використовуються середньоквадратичне відхилення як основний параметр побудови кривої. Також для побудови діаграми розраховують інтервали ухвалення рішення, що становлять  $\pm 1S$ ,  $\pm 2S$  і  $\pm 3S$  від середнього арифметичного значення і мають наступні формули:

$$\pm 1S = \underline{X} \pm (S*1) \quad (4)$$

$$\pm 2S = \underline{X} \pm (S*2) \quad (5)$$

$$\pm 3S = \underline{X} \pm (S*3) \quad (6)$$

Давайте побудуємо діаграму Леві-Дженнінгса для параметру крові лейкоцитів, контрольні значення якого подаються в табл. 1 :

Таблиця 1. Вимірювання контрольного матеріалу лейкоцитів

Номер вимірювання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WBC, $10^9/л$	8,81	8,86	8,66	8,83	8,95	8,98	8,65	8,92	8,73	8,87

Після обрахунку середнього значення, середньоквадратичного відхилення та інтервалів  $\pm 1S$ ,  $\pm 2S$  і  $\pm 3S$  ми отримуємо діаграму на рис.2. Як можна побачити, вимірювання контрольного матеріалу по параметру WBC не виходить за границі  $\pm 2S$ , що свідчить про правильність проведення контролю.

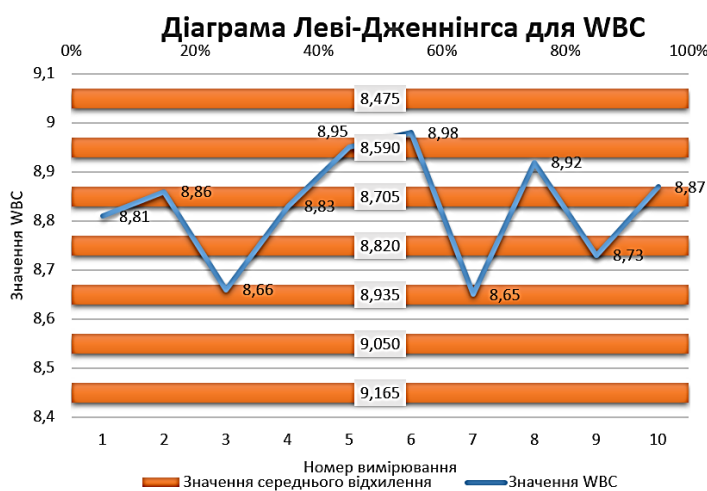


Рисунок 2. Діаграма Леві-Дженнінгса для лейкоцитів контрольного матеріалу

## ВИСНОВКИ

У цій тезі представлені ключові статистичні параметри для контролю якості медичної діагностики з використанням вимірних значень як контрольного матеріалу так і даних вимірювань пацієнтів, а також формування діаграми Леві-Дженнінгса для представлення критеріїв якості медичної діагностики.

Використання методичних рекомендацій в повсякденній діяльності дозволить керівникам

медичних лабораторій підвищити ефективність і результативність контролю якості як однієї з функцій управління, спрямованих на вирішення нагальної соціальної проблеми – поліпшення якості медичного обслуговування населення України.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Організація контролю якості медичної допомоги в закладах охорони здоров'я / Ю. В. Вороненко та ін. ; Рецензент: О. Л. Зюков, М. С. Пономаренко. Івано-Франківськ : МОЗ України, Департамент з питань якості мед. та фармацевт. допомоги Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П. Л. Шупика, каф. упр. охорон. здоров'я, каф. мед. статистики, 2014. - 31 с
- [2] W. Gregory Cooper. Basic Lessons in Quality Control : навчальний посібник / ed. by George Cembrowsk ; trans. from англ. by И.А. Арефьевой. California : BIO-RAD LABORATORIES, INC., 1998. - 50 с
- [3] Д.С. Шаповалов. Принципи контролю якості медичних лабораторних досліджень. Погляд у майбутнє приладобудування : Наук. конф., м. Київ, 16 трав. 2023 р. / ред. Щербань А.П.
- [4] Медичні лабораторії. Вимоги до якості та компетентності (EN ISO 15189:2012, ЮТ): ДСТУ EN ISO 15189:2015. — [Введ. в дію 22.06.2015]. — К. : Держстандарт України, 2016. — 52 с. — (Національний стандарт України)
- [5] Чуваков О. Контроль якості в медичних лабораторіях | Журнал «Лабораторна справа». Головна | Журнал «Лабораторна справа». URL: <https://e.labsprava.com.ua/laboratorna-sprava-2022-1/kontrol-yakosti-v-medychnykh-laboratoriyakh>
- [6] Коваленко С. Основні складові функціонування системи управління якістю медичних лабораторій. Відкриваємо нове сторіччя: здобутки та перспективи : Науково-практ. конф. з міжнар. участю, м. Харків, 10 верес. 2021 р. Харків, 2021. С. 278–380.

## УДК 006.91

*С.М. Шевчук, студент гр. ПІ-з21мп, д.т.н., доц. Єременко В.С.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАХОГРАФІВ

**Анотація.** Розглянуті питання повірки тахографів та калібрування тахотестерів, методи та засоби калібрування. Проаналізовано вимоги до точності тахографів та до точності тахотестерів. Визначено джерела невизначеності вимірювання під час калібрування, розроблено методику калібрування.

**Ключові слова:** калібрування, невизначеність, тахограф, тахотестер, колісні транспортні засоби

#### ВСТУП

Тахограф – це пристрій, призначений для контролю швидкості і пройденого шляху транспортного засобу, часу праці та відпочинку водія. Тахограф поєднує в собі функції годинника і спідометра. Вмонтований у транспортний засіб, тахограф фіксує швидкість транспортного засобу і час його руху та простою.

Застосування тахографів регламентовано Законом України «Про автомобільний транспорт» [1]. В свою чергу, згідно [2] тахографи належать до сфери законодавчо регульованої метрології, а відповідно до [3] передбачена категорія 70. Тахографи. Відповідно до [4] робочі еталони, які використовуються під час повірки мають бути відкалібровані. Отже, метрологічне забезпечення тахографів складається з повірки самих тахографів, та калібрування робочих еталонів для їх повірки (програматорів тахографів, тахотестерів).

#### МЕТА

Повірки тахографів проводиться відповідно до ДСТУ 9100:2021 [5]. Як робочий еталон застосовується програматор тахографів. На сьогодні відсутня стандартизована методика калібрування таких програматорів.

Отже, метою цієї роботи є:

- аналіз метрологічних вимог до тахографів та програматорів тахографів,
- визначення основних складових невизначеності під час вимірювання,
- розробка методики калібрування робочих еталонів для повірки на прикладі тахотестера Stoneroge Optima<sup>2</sup>,
- пошук оптимального рішення за критерієм час/кількість задіяного устаткування для калібрування.

#### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Розрізняють два види тахографів – аналогові та цифрові (Рис. 1). Аналогові записують дані праці водія на спеціальну картонну карту, яка обертається в спеціальному годинниковому механізмі, а цифрові записують на електронну картку водія.

Обидва типи тахографів вимірюють наступні величини: пройдена відстань, швидкість та час.

Для визначення цих величин в тахографах запрограмовані два коефіцієнти:

- характеристичного коефіцієнт транспортного засобу –  $W$ , 1 імп./км;
- константа тахографа –  $K$ , 1 імп./км;
- ефективна довжина кола шини –  $L$ , м.





Рисунок 1. Тахограф а) – аналоговий, б) – цифровий

Вимоги до значення похибок вимірювання тахографів згідно [5] та тахотестерів наведено в Табл. 1.

Таблиця 1 – Вимоги до похибок/невизначеності тахографів та тахотестерів

Вимірювана величина	Аналоговий тахограф	Цифровий тахограф	Тахотестер
	Максимально допустима похибка		Розширена невизначеність
умовно пройдена відстань	$\pm 1 \%$	$\pm 1 \%$	0,2 %;
умовна швидкість	$\pm 3$ км/год	$\pm 1$ км/год	0,2 %;
час	$\pm 2$ хв за добу	не нормується	0,5 с за добу

Незалежно від виду тахографа, для перевірки застосовують універсальні програматори, які повинні відповідати вимогам до точності [5] та мати можливість приєднуватися до тахографів обох видів. Для цього повинен бути комплект кабелів-адаптерів та цифрових адаптерів (Рис. 2).



Рисунок 2. Пристрій для перевірки та програмування тахографів

Згідно з [4] робочі еталони, які використовуються під час перевірки мають бути відкалібровані відповідно до методик калібрування. В свою чергу,

методики калібрування містяться в національних стандартах або розроблені виконавцями з урахуванням національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології. Відповідно була розроблена власна методика калібрування, яка містить розділи процедури калібрування:

1. Зовнішній огляд
2. Опробування
3. Визначення основних метрологічних характеристик
  - 3.1. Визначення дійсного значення та зміщення показів
  - 3.2. Визначення стандартного відхилення повторюваності
4. Вимірювана величина: кількість імпульсів (Impulse count)
5. Вимірювана величина: константи тахографа W, K
6. Вимірювана величина: Умовна швидкість
7. Вимірювана величина: Умовна відстань
8. Вимірювана величина: Похибка вимірювання часу

Як робочі еталони для калібрування для пунктів 4,5 та 8 обрано генератор сигналів Instek, AFG-2225 з відносною розширеною невизначеністю частоти не більше  $10^{-6}$  в діапазоні частот 1 мкГц – 1 МГц, для пунктів 6, 7 частотомір ЧЗ-6/8 з відносною розширеною невизначеністю частоти не більше  $10^{-9}$  в діапазоні частот 1 Гц – 1 МГц.

Під час калібрування застосовується режим симуляції швидкості, відстані тощо, тому для отримання значень безпосередньо вимірюваної величини – частоти, застосовується наступна формула:

$$F_{PE} = \frac{W \cdot V_{ум}}{3600}, Гц \quad (1)$$

де  $F_{PE}$  – частота, яка генерується (для п. 4, 5) або вимірюється (для п.6, 7),

$W$  – коефіцієнт транспортного засобу, який формується датчиком обертів, встановленим на вісь автомобіля,

$V_{ум}$  – умовна швидкість.

Обчислені значення частоти для калібрування режиму вимірювання умовної швидкості наведені в Табл. 2.

Таблиця 2 - Значення частоти  $F_{PE}$  залежно від умовної швидкості  $V_{ум}$

Коефіцієнт W, імп./км	Умовна швидкість, $V_{ум}$ , км/год	Розрахункове значення частоти $F_{PE}$ , Гц	Допустимі межі частоти, Гц
8000	45	100	99,8 – 100,2
8000	63	140	139,72 – 140,28
8000	90	200	199,6 – 200,4
8000	135	300	299,4 – 300,6
8000	180	400	399,2 – 400,8

Особливістю калібрування для п. 5 є необхідність симуляції часу проїзду відстані 30 м, який фіксується за допомогою фотосенсора. Час обчислюється за

наступною формулою (2), результати наведено в Табл. 2.

$$T_{30} = \frac{W \cdot L}{F_{\text{імп}}}, c \quad (2)$$

Таблиця 2 – калібрування каналу вимірювання константи тахографа

Задане значення $W_{PE}$ , імп/км	Умовна швидкість, км/год	Частота. $F_{\text{імп}}$ Гц	Час "проїзду" 30 м мс
5000	36	50,00	3000
8000	36	80,00	3000
10000	36	100,00	3000

Результати обчислення невизначеності показали, що основний внесок формують: невизначеність робочих еталонів та повторюваність. Фактичне значення невизначеності складало не більше  $U=0,01\%$  що є достатнім для калібрування тахотестерів.

## ВИСНОВКИ

За результатами аналізу вимірюваних величин тахографа розроблено методику калібрування, проаналізовано основні джерела невизначеності. У якості робочих еталонів пропонується використовувати генератор та частотомір з відносною розширеною невизначеністю не гірше  $U=10^{-6}$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Про автомобільний транспорт : Закон України від 05.04.2001 р. № 2344-III: станом на 23 берез. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text> (дата звернення: 01.12.2023).
- [2] Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 р. № 1314-VII : станом на 1 січ. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text> (дата звернення: 01.12.2023).
- [3] Про затвердження переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці : Постанова Каб. Міністрів України від 04.06.2015 р. № 374 : станом на 1 січ. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/374-2015-п#Text> (дата звернення: 01.12.2023).
- [4] Про затвердження Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів : Наказ М-ва розвитку економіки, торгівлі та сіл. госп-ва України від 10.08.2020 р. № 1518. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1000-20#Text> (дата звернення: 01.12.2023).
- [5] ДСТУ 9100:2021. Метрологія. Тахографи. Методика повірки. Чинний від 2022-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 24 с.

*Науковий керівник - д.т.н., доцент Єременко В.С.*

## УДК 621.317

*К.А. Шолудько, Р.Т. Корень, студ. гр. ПІ-21мп, д.т.н., проф. Барилко С.В.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ВИМІРЮВАННЯ ВІДХИЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ЩІЛЬНОСТІ І ТОВЩИНИ МАТЕРІАЛУ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ**

**Анотація.** В роботі висвітлено ультразвуковий метод вимірювання відхилення поверхневої щільності і товщини матеріалу плівки. Наведено принцип дії та структурну схему комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи, що реалізує даний метод. Перевагою даного метода є можливість вимірювання відхилень одразу двох параметрів: поверхневої щільності і товщини матеріалу із використанням одних і тих самих безконтактних перетворювачів.

**Ключові слова:** ультразвуковий метод, амплітуда хвилі, поверхнева щільність, товщина, полімерна плівка, безконтактні перетворювачі.

#### **ВСТУП**

У сучасному виробництві контроль та вимірювання поверхневої щільності і товщини матеріалу [1-5], зокрема плівки, відіграють ключову роль для забезпечення якості продукції. Для вирішення цих завдань використовують комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи (КІВС), які дозволяють здійснювати точне вимірювання відхилень поверхневої щільності та товщини різних полімерних матеріалів.

Саме тому актуальним є завдання розробки безконтактного методу, який би міг забезпечувати оперативне вимірювання та контроль поверхневої щільності і товщини матеріалу полімерної плівки на виробництві.

#### **ПРИНЦИП ДІЇ ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ КІВС**

Задачу вимірювання зміни поверхневої щільності і зміни товщини плоского матеріалу, а саме плівки, може вирішити одна і та сама КІВС. Для кращого розуміння роботи та загального опису даної КІВС приводиться принцип її дії та структурна схема на рисунку 1.

Система працює наступним чином. Генератор 1 створює синусоїдальні коливання напруги із частотою  $f$ , генератор 2 створює прямокутні імпульси меншої частоти. Формувач 3 перетворює отримані сигнали з двох генераторів у зонduючий імпульсний сигнал, який посилюється підсилювачем 4 та подається на п'єзоперетворювач 6, який випромінює у вигляді пакетів ультразвукові хвилі, що проходять через еталонну плівку 20 з відомою поверхневою щільністю  $m_{s0}$  та товщиною  $h_0$ . В той же час п'єзоперетворювач 5 також випромінює пакети ультразвукових хвиль у полімерну плівку 21 з контрольованою поверхневою щільністю  $m_s$  та товщиною  $h$ . Ці хвилі проходять крізь плівки 20 та 21, приймаються п'єзоперетворювачами 7 і 8, та подаються на входи мультиплексора 9. Частота переключення  $\Omega$  мультиплексора 9 вибирається в 50 – 100 разів менше, ніж частота синусоїдальних коливань  $f$ .

При з'єднанні виходу другого приймального п'єзоперетворювача 8 з входом першого мультиплексора 9 отримуються та розповсюджуються пропорційні ультразвуковим хвилям, що проходять еталонну полімерну плівку 20, електричні пакети імпульсного сигналу. Цей сигнал проходить через мультиплексор 9, масштабовано збільшується за допомогою підсилювача 10, перетворюється в

однополярну напругу детектором 11, яка проходить крізь фільтр верхніх частот 12, а потім напруга  $U_1$ , що створюється, надходить на мікроконтролер 17 та надходить на другий мультиплексор 14. Аналогічно створюється напруга  $U_2$ , за ультразвуковими хвилями у вимірювальному каналі.

Якщо пакети ультразвукових хвиль у вимірювальному та опорному каналах КІВС мають різні амплітуди, то в результаті у вихідній напрузі фільтра верхніх частот 12, який має частоту зрізу, що дорівнює або трохи перевищує частоту переключення  $\Omega$  першого мультиплексора 9, з'являється змінна компонента  $U_3$  частоти  $\Omega$ . Напруга  $U_3$  подається на мікроконтролер 17.

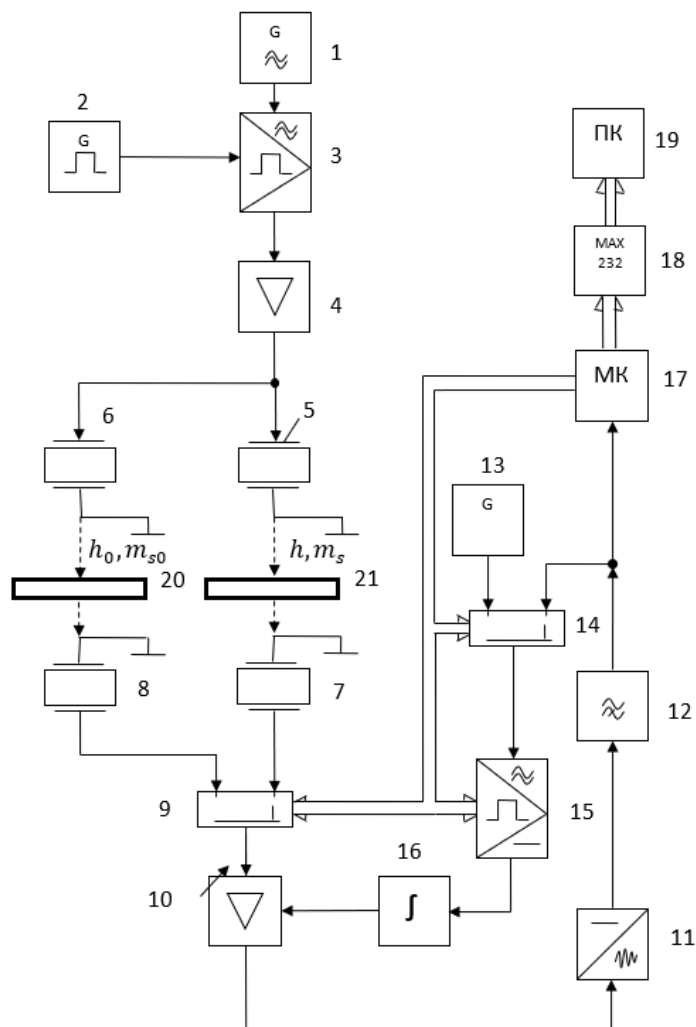


Рисунок 1. Структурна схема комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи

Також, напруга  $U_0$  з джерела постійної напруги 13 та напруга  $U_3$  з виходу фільтра верхніх частот 12 послідовно по черзі через мультиплексор 14 передаються на вхід фазочутливого випрямляча 15.

Змінна частотна складова  $\Omega$  випрямляється фазочутливим випрямлячем 15 та подається у вигляді напруги  $U_3'$  на вхід інтегратора 16. Вихідна напруга інтегратора потрапляє на регулюючий вхід підсилювача 10 з регульованим коефіцієнтом підсилення, який змінює цей коефіцієнт в напрямку вирівнювання випрямленої напруги  $U_1$  та постійної опорної напруги  $U_0$ . Після цього вихідна напруга фазочутливого випрямляча 15 буде рівна нулю, а інтегратор 16 буде

утримувати постійне значення коефіцієнта підсилення  $K_3$  підсилювача 10.

Із врахуванням постійного значення коефіцієнта підсилення  $K_3$  підсилювача 10 напруга  $U_3$ , що надходить на мікроконтролер 17, перетворюється у цифровий код та передається на ПК 19 через блок перетворення логічних рівнів 18. З урахуванням вже відомих значень  $U_0$  та  $m_{s0}$ , які зберігаються у ПК 19, може визначатися відхилення одночасно поточного значення поверхневої щільності  $m_s$  та товщини  $h$  матеріалу полімерної плівки 21. Ця інформація може відображати поточне значення поверхневої щільності  $m_s$  та товщини  $h$  або відносне відхилення цих параметрів для контрольованої плівки 21 від еталонного їх значення.

## ВИСНОВКИ

В роботі показана можливість застосування комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи для безконтактного вимірювання відносного відхилення поверхневої щільності та товщини матеріалу полімерної плівки, що є на сьогоднішній день перспективним напрямком у сучасній промисловості. Потенціал даного методу та реалізованої системи на його основі полягає в можливості оперативно забезпечувати надійні результати вимірювань з високою точністю, що є важливим для забезпечення бажаної якості та конкурентоздатності готової продукції. Цей метод може знайти широке застосування у виробничих умовах для контролю параметрів плівок та інших матеріалів в процесі їх виготовлення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ультразвуковий безконтактний контроль товщини полімерних плівок / В.С. Єременко, Н.М. Зацепкіна, В.Г. Здоренко, С.В. Барилко // Тези ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Датчики, прилади та системи» – 20-24 вересня 2021.- Черкаси. – ЧДТУ. – С.24 - 26.
- [2] Основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / В.К. Цапенко, Ю.В. Куц. – К.: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». – 2010. – 448 с.
- [3] Застосування ультразвукових сенсорів / Я. Луцик, Л. Буняк, Б. Стадник. – Л.: СП «Бак», 1988. – 232 с.
- [4] Білокур І.П. Акустичний контроль: навч. посіб. – К.:ІЗМН, 1997. – 224 с.
- [5] Дослідження проходження ультразвукових хвиль через полімерне покриття на металевій пластинці / В.Г. Здоренко, О.М. Матяш // Тези XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування» – 16-17 травня 2023.- Київ. – КПІ. – С. 217 - 219.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Барилко С.В.*

## **Секція 6.**

# **Новітні технології у проектуванні роботизованих систем в неруйнівному контролі, технічній та медичній діагностиці**

УДК 620.179.16:621.376.4

*Д.О. Гайдамака, студент гр. ПК-01*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ**

*Анотація.* Продемонстровано можливості використання дискретного перетворення Гільберта в обробці сигналів ультразвукової товщинометрії.

**Ключові слова:** ультразвукова товщинометрія, дискретне перетворення Гільберта, фазовий метод.

### **ВСТУП**

У сучасних умовах використання та розвитку технологій ультразвукового неруйнівного контролю широко використовуються різноманітні методи та прилади дефектоскопії та товщинометрії [1]. Остання реалізується шляхом вимірювання часу  $\tau_{ок}$  поширення ультразвукових коливань в об'єкті контролю (ОК). За відомої швидкості  $c$  поздовжніх ультразвукових хвиль товщина ОК  $h_{ок}$  визначається за відомою формулою:  $h_{ок} = 0,5c\tau_{ок}$ . Ультразвукова товщинометрія (УЗТ) знаходить застосування в різних галузях науково-промислового комплексу України. До числа актуальних задач УЗТ належать: задачі визначення товщини відповідальних елементів конструкцій, дослідження властивостей нових конструкційних матеріалів, визначення розшарування багат шарових матеріалів, виявлення корозійних уражень ОК і т. і.

Однією з актуальних задач УЗТ є задача виявлення донних сигналів за малого відношення сигнал/шум. Така ситуація має місце при дослідженні нових конструкційних матеріалів зі значним загасанням ультразвукових коливань, в багатоканальних ультразвукових системах контролю товщини прокату, коли з метою зменшення енерговитрат намагаються зменшити потужність сигналів збудження коливань. В роботі [2] представлено фазовий метод виявлення сигналів ультразвукового контролю, який ґрунтується на аналізі фази ультразвукових коливань. Цей метод має ряд переваг. Подальше його дослідження та визначення потенціальних можливостей і обмежень потребує проведення додаткових досліджень.

Мета даної роботи полягає в моделюванні процесу оброблення сигналів УЗТ, яке ґрунтується на використанні дискретного перетворення Гільберта (ДПГ) в сукупності з фазовим методом виявлення донних сигналів.

Ключові аспекти дослідження включають аналіз ефективності ДПГ для УЗТ та розгляд можливостей його застосування для поліпшення характеристик точності ультразвукових товщиномірів при різних відношеннях сигнал/шум.

### **СУТНІСТЬ ФАЗОВОГО МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ І ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ**

За одностороннього доступу до ОК один п'єзоелектричний перетворювач використовують для збудження ультразвукових коливань введення їх в ОК і прийманні донних (відбитих від протилежної сторони ОК) сигналів. Моделі зонду чого і донного сигналів представляються формулами [2]



$$U_3(t) = U(t) \sin 2\pi ft, \quad t \in [0, T_A] \quad (1)$$

$$U_D(t) = \sum_i k_{EAT,i} U_3(t - \tau_3 - i\tau) + \xi(t), \quad t \in [0, T_A] \quad (2)$$

де  $U(t)$  – обвідна зондуючого сигналу;  $f$  – частота сигналу-носія,  $T_A$  – час аналізу сигналу;  $k_{EAT,i}$  – коефіцієнт ослаблення електроакустичного тракту для донних сигналів після їх  $i$ -того відбиття від дна ОК;  $\tau$  – період повторення донних сигналів ( $\tau = 2\tau_{ок}$ );  $\tau_3$  – затримка першого донного імпульсу відносно зондуючого;  $\xi(t)$  – реалізація гауссового шуму з нульовим математичним сподіванням і дисперсією  $\sigma^2$ .

Зазвичай, методи оброблення сигналів ультразвукової товщинометрії фокусуються на використанні обвідної сигналу (2) для визначення затримок  $\tau_{ок}$ . За умови, коли амплітуда донних сигналів стає порівнюваною з  $\sigma$  ці методи втрачають працездатність і стають менш ефективними порівняно з фазовими.

Фазовий метод аналізу донних сигналів реалізується послідовністю етапів:

- 1) аналого-цифрове перетворення сигналу  $U_D(t)$  і його представлення дискретною послідовністю  $U_D[j]$ ,  $j = 1 \dots J$ , де  $J$  – обсяг послідовності;
- 2) застосування ДПГ до  $U_D[j]$  і отримання гільберт-образу  $\tilde{U}_D[j]$ ,  $j = 1 \dots J$ ;
- 3) обчислення поточних значень обвідної і фази послідовності  $U_D[j]$ :

$$A_D[j] = \sqrt{(U_D[j])^2 + (\tilde{U}_D[j])^2}, \quad j = \overline{1, J} \quad (3)$$

$$\varphi_D[j] = \arctg \tilde{U}_D[j] / U_D[j] + 0,5\pi \{2 - \text{sign} \tilde{U}_D[j] (1 - \text{sign} U_D[j])\}, \quad j = \overline{1, J} \quad (4)$$

- 4) визначення різниці фаз послідовності  $U_D[j]$  і дискретної фази сигналу носія

$$\varphi_D[j] = \varphi_D[j] - 2\pi f j T_d, \quad j = \overline{1, J} \quad (5)$$

де  $T_d$  – період дискретизації сигналу;

- 5) отримання результуючої довжини вектора [3] в процесі ковзного аналізу різниці фаз  $\varphi[j]$  з вікном апертурою  $M$

$$r[j] = \frac{1}{M} \sqrt{\left( \sum_{j-M/2+1}^{j+M/2} \cos(\varphi[j]) \right)^2 + \left( \sum_{j-M/2+1}^{j+M/2} \sin(\varphi[j]) \right)^2}, \quad j = \overline{\frac{M}{2}, (J - \frac{M}{2})} \quad (6)$$

- 6) визначення затримки  $\tau_{ок}$  за максимумами послідовності  $r[j]$ .

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ УЗТ ТА ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Вихідні дані моделювання: частота сигналу - 5кГц, амплітуди донних сигналів у відносних одиницях - 1, частота дискретизації – 2 мкс, обсяг вибірки - 2000, кількість донних імпульсів - 2, апертура вікна – 100. Досліди проводились в циклі зі змінним середньоквадратичним значенням шуму, яке задавалось згідно формули

$$\sigma_k = k * 0.005, k = 1 \dots 10 \quad (7)$$

де  $k$  – номер ітерації в циклі дослідження.

На рисунку 1 подано графічне представлення основних розрахованих функцій, отриманих у 10-й ітерації, для якої відношення сигнал/шум дорівнює

$$c/u = \frac{1}{\sigma_{10}} = 2.$$

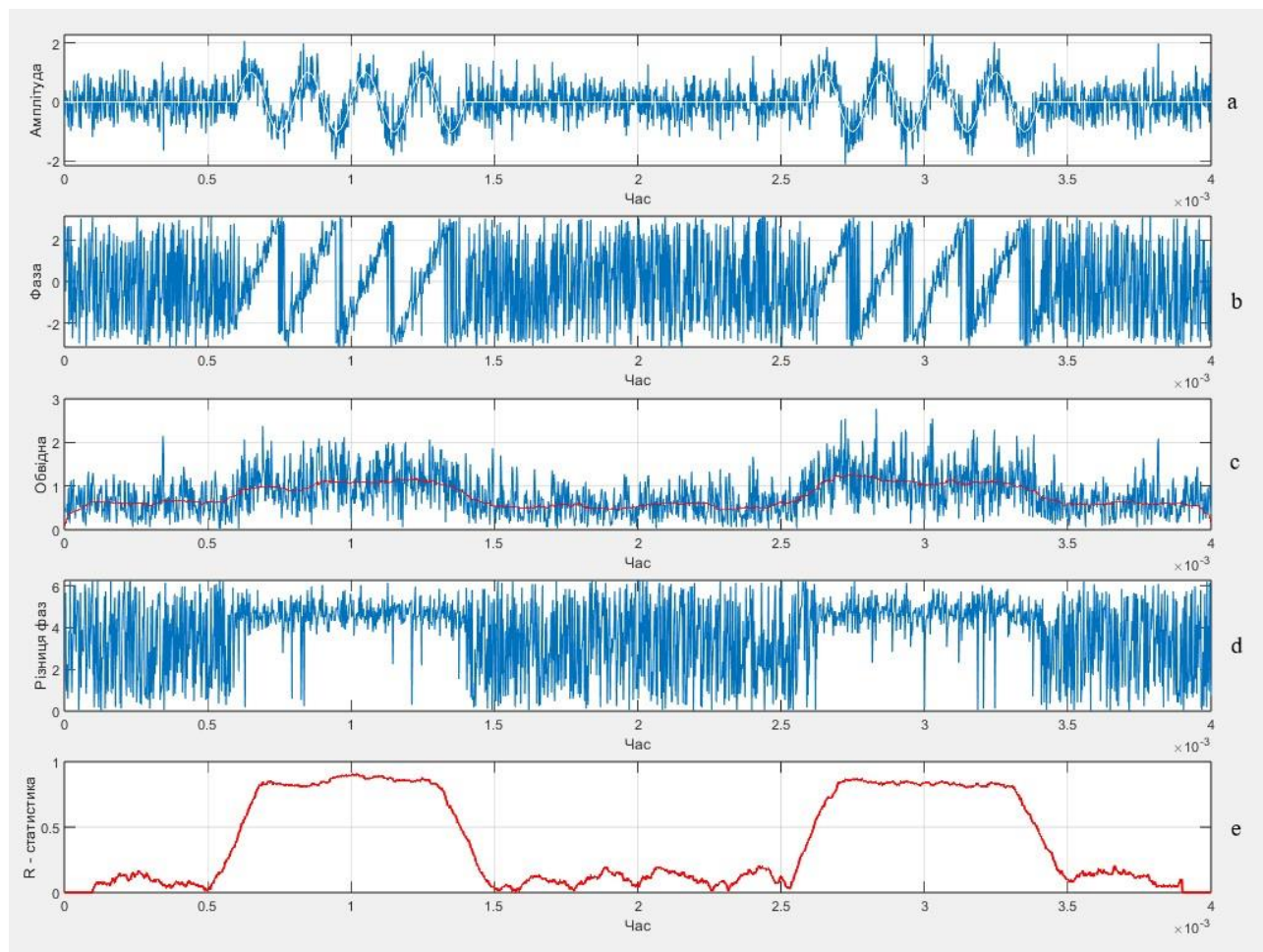


Рисунок 1. Графічне представлення результатів моделювання

На рисунку 1 представлено: на епюрі а – графік адитивної суміші сигналу і шуму (синім кольором) та інформаційна складова сигналу (білим кольором); епюра b – графік фази сигналу, обчислений за формулою (4); епюра c – графік обвідної сигналу (миттєві значення – синім, усереднені - червоним); епюра d – графік різниці фаз, обчислений за формулою (5); епюра e – графік r – статистики, обчислений за формулою (6). Усереднені значення обвідної на епюрі рис.1 с отримані шляхом застосування до миттєвих значень обвідної медіанної фільтрації з апертурою фільтра 99 відліків.

З аналізу наведених графічних даних отриманих для відношення  $c/u = 2$ , чітко видно різницю між можливостями амплітудного і фазового методу виділення сигналів на фоні шуму. Порівнюючи графіки рис. 1c та рис. 1e, можна пересвідчитись, що фазовий метод виявлення сигналів є більш завадо захищеним порівняно з амплітудним і зберігає працездатність за менших відношень

сигнал/шум. Зокрема у проведеному модельному експерименті виявлення сигналів за його обвідною при відношенні  $c/\pi = 2$  стає практично неможливим.

У проведеному експерименті використовувалась вся розрядна сітка комп'ютера (64 двійкових розряди) для представлення модельних даних. В реальних засобах ультразвукового контролю аналого-цифрове перетворення сигналів виконується відповідними перетворювачами зі значно меншим числом двійкових розрядів (10 – 14). Тому подальші дослідження фазового методу будуть спрямовані на аналізі ефективності цього методу за представлення інформаційних сигналів обмеженою кількістю двійкових розрядів.

## **ВИСНОВКИ**

Виконані модельні експерименти підтвердили ефективність фазового методу виявлення сигналів. Метод дає можливість виявити більшу кількість донних імпульсів при їх повторному відбитті від поверхонь ОК, що дає змогу підвищити точність виявлення часових інтервалів і в цілому підвищити точність визначення товщини.

Цей метод може бути використаний і в ультразвуковій дефектоскопії. При використанні фазового методу, слід очікувати виявлення дефектів з меншим ефективним діаметром. У цих умовах, при зменшенні діаметра дефекту, шум залишається сталим, тоді як відбитий сигнал послаблюється. Метод найбільш ефективний для випадків, коли відношення сигнал/шум є зменшеним за рахунок значних коефіцієнтів загасання ультразвукових коливань в матеріалі досліджуваних об'єктів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Галаган Р.М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р.М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с
- [2] «Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник» авторів В.К. Цапенка та Ю.В. Куца
- [3] Куц Ю. В. Статистична обробка результатів кутових вимірювань сигналів / Куц Ю. В., Л. М. Щербак.// Вісник НАУ. – 2003. – №3-4. С. 22-26.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Куц Ю.В.*

УДК 681.5

*І.О. Довбиш, студентка гр. ПК-11, к.т.н., Муравйов О.В.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МЕТОДИ УБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦІВНИКІВ НА ВИРОБНИЦТВІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РІВНЯ ВЗАЄМОДІЇ ЛЮДИНА-РОБОТ

**Анотація.** Стаття містить аналіз вимог до систем безпеки робітників на роботизованому виробництві. У даній роботі визначено рівні взаємодії робот-людина та відповідні методи забезпечення працівників при кожному рівні комунікації, наведені приклади датчиків, що можуть використовуватися для розпізнавання людини та забезпечення її безпеки поруч із роботом, зазначено шляхи подальшого розвитку таких засобів та технологій.

**Ключові слова:** промислові роботи, автоматизація виробництва, безпека людини на виробництві, взаємодія людина-робот.

### ВСТУП

Сьогодні у всьому світі спостерігається стрімка тенденція до автоматизації та роботизації серійного виробництва, спрямована на мінімізацію всіх видів ресурсів, що необхідні для отримання кінцевого виробу [1]. Взаємодія людини з роботом стає невід’ємною частиною життя і зустрічається на сьогодні у багатьох сферах: промисловість, освіта, медицина, логістика та наука. Робота із роботом значно покращує продуктивність та якість результату, знижує витрати на найману працю. Одночасно виникає питання безпеки працівників в умовах такої взаємодії. Забезпечення безпеки є особливо важливим на підприємствах, де передбачені великі потужності та швидкості машин і помилка людини може призвести до загибелі.

До недавнього часу безпека працівників на автоматизованому виробництві ґрунтувалась насамперед на використанні фізичних захисних засобів, таких як клітки, щоб відокремити людей від роботизованого обладнання (рис. 1, а). Подальший розвиток технологій роботизації надав можливість одночасно поєднувати роботу людини та роботизованої техніки в безпосередньому контакті, що дозволило значно підвищити ефективність праці за рахунок кооперації та поєднання можливостей працівника і робота (рис. 1, б).



а)



б)



Рисунок 1. Наявність людини в робочій зоні робота на виробництві: а) доступ людини в робочу зону робота закритий; б) людина та робот знаходяться в одній робочій зоні

Проте необхідним є обмеження роботи машини поруч із робітниками, яке може варіюватися в залежності від рівня взаємодії людина-робот: від повного припинення роботи в разі присутності людини до лімітування швидкостей, прикладеної сили тощо. Розробка подібних заходів безпеки, алгоритмів та засобів, що їх забезпечують, є надзвичайно важливих напрямом для сучасної

індустрії.

## ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

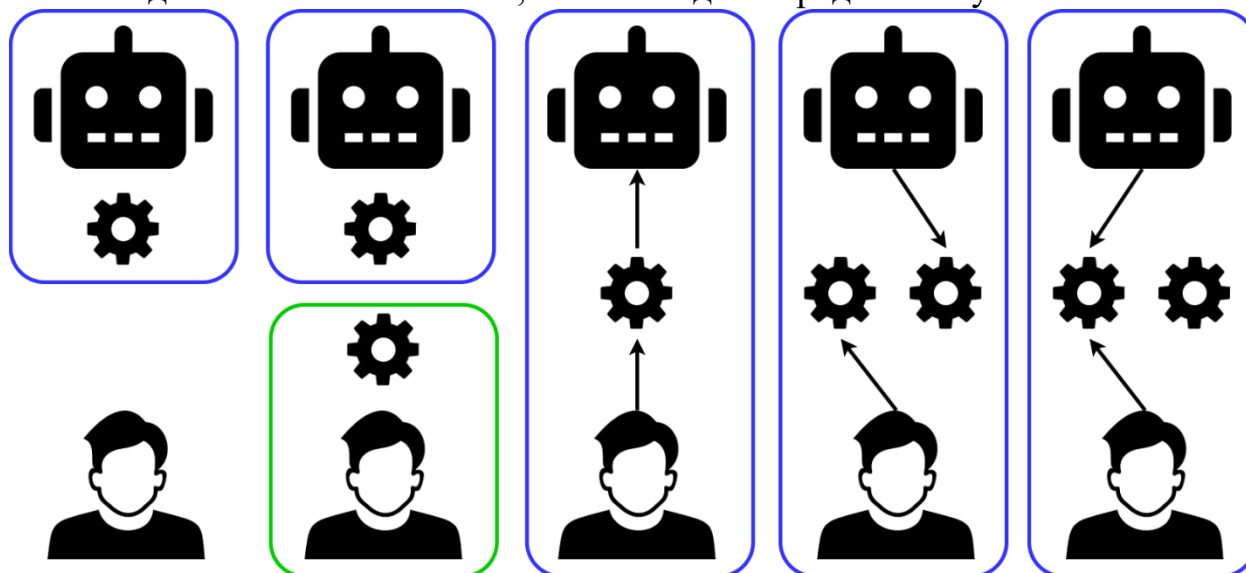
Стандартом, за яким має забезпечуватися безпека на автоматизованому виробництві є EN ISO 10218-1:2014 [2]. Він затверджений в Україні і є державним. Основним недоліком даного стандарту є те, що в ньому описаний виключно результат, який ми маємо отримати для убезпечення людини на роботизованому підприємстві: вимоги до конструкції і заходи захисту, обмеження швидкості, функції зупинки, вимоги до спільної роботи, але відсутні рекомендації щодо методів забезпечення цих функцій, зокрема, шляхів розпізнавання людини роботом. Аналогічну проблему має і більш сучасний стандарт ISO/TS 15066:2016 [3].

У статті [4] описані травми, що може отримати людина внаслідок взаємодії з роботом. На основі даних досліджень можливо зробити висновки щодо: швидкостей роботи механізмів, які є потенційно небезпечними для людини; типів контактів людина-робот, при яких варто обмежувати ці швидкості; наслідків застосування сили роботом в бік людини і методів запобігання таких ситуацій.

Беручи до уваги усі розроблені безпекові вимоги до забезпечення комунікації людина-робот, розроблюються ефективні методи навчання машин правил поведінки з людиною з метою створення умов спільної праці [5].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виділяють 5 основних рівнів комунікації між людиною та роботом, що представлені на рис. 2. Чим ближче один до одного працюють людина та робот, тим складніше системи безпеки, які необхідно передбачити у машині.



Відокремлення

Співіснування

Синхронізація

Кооперація

Колаборація

Рисунок 2. Рівні комунікації між людиною та роботом

При повністю відокремленій роботі (рис. 2, «Відокремлення») машина зупиняє виконання будь-яких дій, якщо бачить людину у робочій зоні, яка часто є окремим приміщенням. Для реалізації такого функціоналу використовують

пасивні інфрачервоні датчики, датчики руху. Головним є фіксування наявності людини, немає необхідності в отриманні точних координат її місцезнаходження та характеру руху.

Однією з технологій, що також використовуються при відокремленій роботі є RFID (радіочастотна ідентифікація). При використанні даного методу у кожного працівника є власна RFID-мітка, що може знаходитися, наприклад, у власному пропуску. При її зчитуванні є можливість не лише зупинити машину у цілях безпеки, а й визначити, хто саме потрапив у робочу зону. Суттєвим недоліком даної технології є те, що роботизована система не зможе розпізнати людину без RFID-мітки, а отже, продовжуватиме свою роботу, не зважаючи на загрозу безпеці.

Починаючи з рівня взаємодії людина-робот «Співіснування» (рис. 2) робітник та машина працюють в одному робочому полі, але все ще на досить великій відстані один від одного. Для такого виду комунікації часто визначається безпечна відстань від робота до людини, при порушенні якої механізм зупиняється. Для реалізації такого підходу використовуються ті ж датчики, що й при відокремленій роботі, а також, в деяких випадках, датчики дотику.

При синхронізації роботи людини та машини (рис. 2, «Синхронізація») використовуються усі методи фіксування наявності працівників біля машини, що й в перших двох рівнях. Особливостями даної взаємодії є те, що людина і машина працюють в одній робочій зоні, але в різний час та на різних етапах створення продукту.

Двома найближчими рівнями співпраці з роботом є «Кооперація» та «Колаборація» (рис. 2). Відмінність між ними полягає в тому, що для першого – людина та машина працюють на різних етапах створення продукту, а для другого – на одному. Проте в кожному з них спостерігається досить близька взаємодія, одночасна робота в одному робочому полі, що є небезпечним для життя і здоров'я людини.

Сучасним рішенням забезпечення безпеки при такій праці є застосування технологій машинного навчання та комп'ютерного зору для розпізнавання людей і, зокрема, облич [6]. Також поєднують зображення, що надходять з камер інфрачервоного та видимого спектрів для отримання повної, об'ємної картини навколишнього середовища [7]. До камер також додають й інші датчики, формуючи мережу сенсорів для робота.

Дані алгоритми можна зустріти й на перших рівнях взаємодії людина-робот, особливо на підприємствах, де неможливо часто зупиняти машини і працівники можуть знаходитися достатньо близько до механізму, не беручи участі у безпосередньому створенні виробу.

Усі обчислення для алгоритмів машинного навчання мають відбуватися у самому роботі, без використання хмарних можливостей чи дистанційної передачі інформації у центр обробки даних. Причиною є те, що при погіршенні зв'язку машина може не встигнути проаналізувати навколишнє середовище, розпізнати людину, що може призвести до травм.

## ВИСНОВКИ

Методи реалізації належних умов праці на виробництві залежать від рівня взаємодії людина-робот і можуть бути успішно застосовані для підвищення рівня безпеки та продуктивності працівників. Розглянуті стратегії, відповідно до рівня автоматизації й дотримання стандартів безпеки, можуть бути інтегровані для забезпечення безпеки й комфорту працівників на виробництві.

Беручи до уваги потужності, що використовуються на сучасних підприємствах, найчастіше зустрічаються рівні взаємодії між роботом та працівниками «Відокремлення», «Співіснування» та «Синхронізація». Вони є достатньо безпечними для людини, адже передбачають повне виключення механізму при виявленні людини.

Описані методи є здебільшого способами уникнення наслідків невиконання людиною правил безпеки на виробництві. Перспективним напрямком є використання даних здобутків для забезпечення спільної праці людини та робота з використанням можливих і необхідних для створення певного продукту потужностей автоматичної техніки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Petryk V. F. Smartphone-Based Automated Non-Destructive Testing Devices / V. F. Petryk, A. G. Protasov, R. M. Galagan, A. V. Muraviov, I. I. Lysenko // *Devices and Methods of Measurements*. – 2020. – 11(4), PP. 272-278. DOI:10.21122/2220-9506-2020-11-4-272-278.
- [2] Роботи та роботизовані пристрої. Вимоги щодо безпеки для промислових роботів. Частина 1. Роботи: ДСТУ EN ISO 10218-1:2014 (EN ISO 10218-1:2011, IDT) — [Чинний від 2020–01–01]. — К. : Держстандарт України, 2014. — (Національний стандарт України).
- [3] Robots and robotic devices. Collaborative robots ISO/TC 299: ISO/TS 15066:2016. International Organisation for Standardisation, Geneva, 2016.
- [4] Haddadin S. Requirements for Safe Robots: Measurements, Analysis and New Insights / S. Haddadin, A. Albu-Schaffer, G. Hirzinger // *The International Journal of Robotic Research*. – November 2009. – PP. 1507-1527.
- [5] Malik A. A. Developing a reference model for human–robot interaction / A. A. Malik, A. Bilberg // *International Journal for Interactive Design and Manufacturing*. – 2019. DOI:10.1007/s12008-019-00591-6
- [6] Бруслік М. О. Системи комп'ютерного зору в технології доповненої реальності та їх використання в навчанні / М. О. Бруслік, О. В. Муравйов // XI Науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня. – Київ, Україна. – 2018. – С. 389-391.
- [7] Сторожик Д. В. Комплексування мультиспектральних зображень як метод підвищення їх інформативності при бінарній сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов, А. Г. Протасов, В. Г. Баженов, Г. А. Богдан // *KPI Science News*. – 2020. – № 2. – С. 82–87.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Муравйов О.В.*

УДК 681.5.004.67

*А. І. Журба, студентка гр. ПК-21*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ТА НЕЙРОМЕРЕЖ В РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СЕРЦЕВИХ ЗАХВОРЮВАНЬ ЗА ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМАМИ**

*Анотація.* У роботі досліджуються перспективи впровадження нейромереж у медичну діагностику серцевих захворювань, зокрема за допомогою аналізу електрокардіограм. В аналізі висвітлюються порівняння між сучасними методами діагностики та новаторськими технологіями глибокого навчання та нейромереж. В статті детально розглядаються переваги, які надають нейромережі в порівнянні із традиційними методами діагностики серцевих захворювань. Висвітлено як позитивні аспекти, так і можливі виклики при використанні нейромереж у цьому контексті. Запропоновано введення глибокого навчання з метою підвищення точності та ефективності постановки діагнозів в медичній практиці.

**Ключові слова:** медична діагностика, серцеві захворювання, нейромережі, ЕКГ

### **ВСТУП**

У всі часи медична діагностика була однією з провідних сфер діяльності людства, оскільки саме від неї залежали життя та його якість [1, 2]. Багато хвороб, діагностованих занадто пізно, наразі забирають життя мільйонів пацієнтів, проте за даними ВООЗ суттєву частину смертності складають серцево-судинні захворювання - це 32% усіх смертей у світі за даними 2019 р. [3]. На таку статистику можуть впливати: мала ефективність існуючих методів аналізу електрокардіограм (ЕКГ) для діагностики на ранніх стадіях захворювання, людський фактор, низький розвиток алгоритмів діагностики даних захворювань, зважаючи на генетичні та персональні особливості пацієнта, тощо. Виходячи з цього можна зробити висновок, що діагностика даного типу захворювань потребує новітніх високоточних технологій для збільшення ефективності постановки діагнозів, зокрема на початкових стадіях.

У цьому контексті необхідно розглянути можливості застосування глибокого навчання та нейромереж, що завдяки своїй здатності навчатися на великих обсягах даних зможуть проводити аналіз навіть найскладніших акустичних картин звукового сигналу, виявляючи найдрібніші ознаки серцевих захворювань, непомітні для людського слуху. Теоретично такий підхід дозволить формувати прогнози щодо розвитку захворювання у пацієнта базуючись на вже відомих йому клінічних випадках.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

В останні роки проводиться багато досліджень з метою автоматизації аналізу ЕКГ. Авторами роботи [1] було розроблено Deep neural networks (DNN) для класифікації 12 класів ритму (рис.1), використовуючи ЕКГ в кількості 91232 штук в одному відведенні від 53549 пацієнтів. В результаті, за умови фіксації специфічності на рівні середньої досягнутої кардіологами, чутливість DNN перевищувала середню чутливість кардіолога для всіх класів ритму. Дана розробка теоретично довела, що наскрізний підхід глибокого навчання може класифікувати широкий діапазон різних аритмій за одноканальними ЕКГ з високою діагностичною ефективністю, подібною до лікарів-кардіологів.



Підтвердження такого підходу в клінічних умовах, в перспективі зменшить кількість неправильно діагностованих комп'ютеризованих інтерпретацій ЕКГ і підвищить ефективність експертної інтерпретації ЕКГ людини шляхом точного сортування або визначення пріоритетності найбільш невідкладних станів.

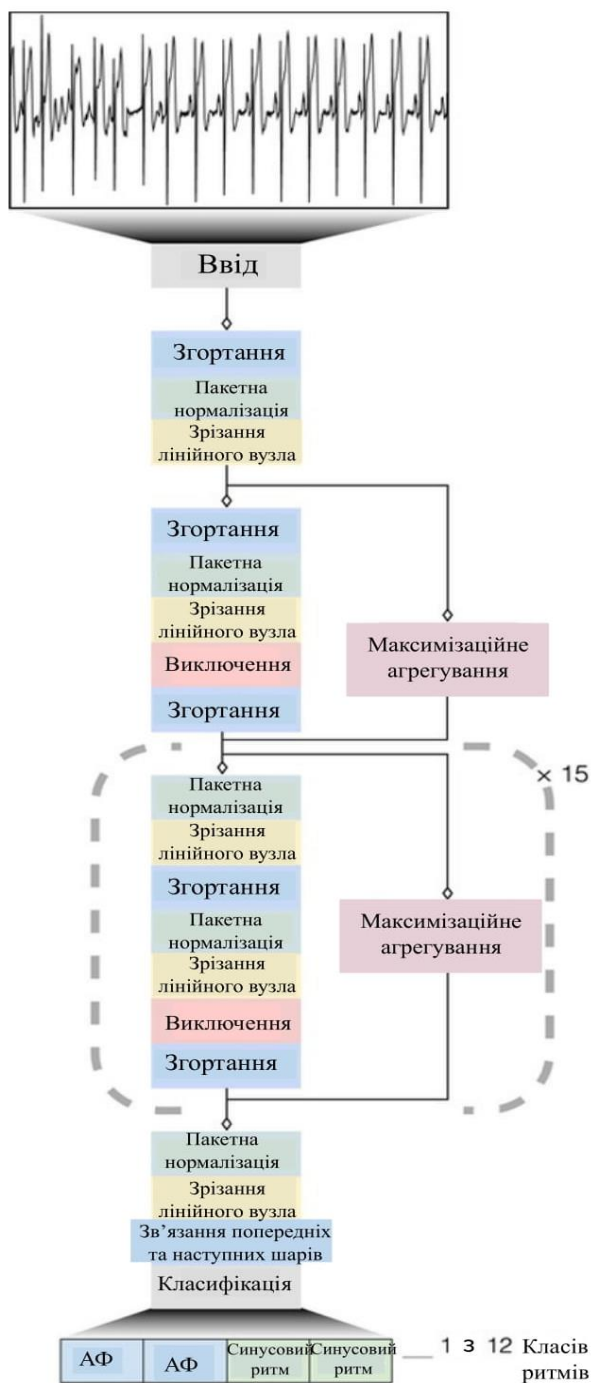


Рис. 1. Архітектура DNN для класифікації ЕКГ

насамперед брак повних цифрових баз даних S12L-ECG, що необхідний для навчання нейромережі. Нестача таких даних відбувається тому, що більшість записів ЕКГ все ще реєструються лише на папері, або архівуються як зображення, або передбачено зберігання у форматі PDF. Проте, усі ці способи зберігання створюють труднощі для аналізування їх нейромережею.

Також у ході досліджень [1] було виявлено, що за допомогою високої точності аналізу при використанні нейронних мереж можна ефективніше виявляти спонтанні високочастотні події в ЕКГ, а також за необхідності враховувати індивідуальні характеристики пацієнта, тобто проводити пацієнто-орієнтований моніторинг ЕКГ в реальному часі. Особливо це стосується низькопотужних портативних пристроїв, які, наприклад для проведення холтерівської діагностики, передбачають неперервний запис ЕКГ протягом 1-2 доби з метою виявлення непомітних під час інших методів аналізу ознак захворювань [4].

Головним надбанням цієї роботи (рис.2) є досягнення найсучаснішої продуктивності у визначенні нормального ритму, передсердної фібриляції та інших ритмів із середнім показником  $F1=0,83$ . Це доводить можливість ідентифікування аномальних серцевих ритмів з високою точністю за допомогою коротких записів ЕКГ в одному відведенні. До основних переваг запропонованої системи також слід віднести і швидкість в обчисленнях, що дозволяє виявляти серцеву аритмію в реальному часі [5].

Проте, окрім переваг, використання нейромереж у діагностиці даного виду захворювань мають певні недоліки, що потребують доопрацювання. Серед них

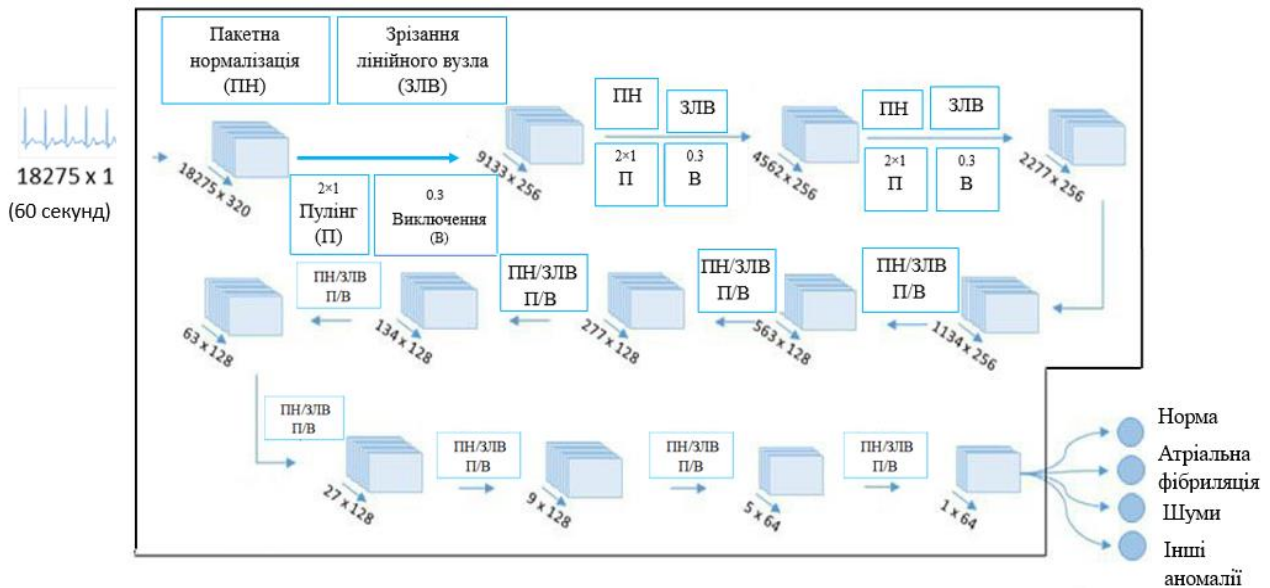


Рис. 2. Копіювання стилів з шаблону у поточний документ, з яким ведеться робота

Існуючі бази даних результатів діагностики пацієнтів доволі часто не містять впорядкованих анотацій щодо діагнозів, які пояснюють зазначені результати аналізу ЕКГ, і через це вони є безкорисними в плані навчання нейромережі. Також окремим питанням в процесі використання нейромережею даних результатів діагностики є питання безпеки та конфіденційності особистої медичної інформації пацієнтів [6].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Приведені дослідження демонструють, що нейромережі можуть ефективно використовуватись для аналізу ЕКГ, а такий підхід здатний підвищити точність діагностики серцево-судинних захворювань, оскільки DNN мають потенціал з більшою точністю виявляти серцеві аномалії, ніж кардіологи. Це зумовлено більшою чутливістю нейромереж до розрізнення усіх класів ритмів роботи серця. Зокрема нейронні мережі можливо використовувати для виявлення неочікуваних високочастотних подій в ЕКГ, непомітних на перших порах навіть лікарю, проте важливих при постановці коректного діагнозу за швидкий проміжок часу.

Високу точність постановки правильного діагнозу також гарантує можливість проведення пацієнто-орієнтованого моніторингу, за використанням нейромереж та портативних пристроїв. Такий метод здатний показати ще точніші результати порівняно з іншими неінвазивними методами. Завдячуючи ж відносній швидкості обчислень деяких систем DNN стає можливим виявляти серцеві аритмії у реальному часі.

Крім того, нейромережі дають можливість ідентифікувати за серцевими ритмами навіть ті серцеві захворювання, що раніше неможливо було діагностувати на ранніх етапах. Серед них фібриляція та тріпотіння шлуночків, інфаркт міокарда та ін. Такого роду діагностика можлива завдяки використанню багатоканальних систем ЕКГ.

Проте для використання нейромереж у медичній діагностиці важливо усунути деякі складнощі, в першу чергу це створення умов для їхнього

ефективного навчання, оскільки наразі нестача баз даних ЕКГ з чітко визначеними діагнозами, сповільнюють розвиток та впровадження нейромереж для коректних постановок діагнозів. Також варто забезпечити пацієнтам конфіденційність та захист їхньої особистої медичної інформації.

## **ВИСНОВОК**

У роботі були розглянуті перспективи інтеграції DNN та інших моделей нейронних мереж з метою покращення і автоматизації аналізу ЕКГ та винесення коректних діагнозів, що важко діагностувати за сучасних методів аналізу.

Сучасні дослідження доводять можливість та переваги використання нейромереж над традиційними методами, оскільки вони забезпечують вищу точність виявлення ознак захворювань на ранніх стадіях, формування прогнозів, виявлення високочастотних сигналів, що більшість традиційних методів можуть не помітити, навіть під час пацієнто-орієнтованого моніторингу. Крім того, традиційні методи не дозволяють діагностувати швидкоплинні повторювані аномалії за ЕКГ. Також великою перевагою застосування сучасних автоматизованих систем є можливість моніторингу серцевих аритмій в реальному часі, що економить час на обробці результатів та дозволяє швидше переходити до лікування або надання допомоги у невідкладних випадках.

У підсумку впровадження та розробка автоматизованих систем на базі нейронних мереж є дуже перспективним спрямуванням для використання в медичній діагностиці, що має потенціал врятувати багато життів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Hannun A. Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network / Hannun A., Rajpurkar P., Haghpanahi M., Tison G., Bourn C., Turakhia M., Ng A. // *Nat Med.*, vol. 25(1) – 2019. – pp. 65-69.
- [2] Муравйов О. В. Автоматизація методу термографічної діагностики патологій організму людини / О. В. Муравйов, В. Ф. Петрик, Ю. Ю. Лисенко, Г. А. Богдан, А. В. Наконечна // *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки.* – 2022. – №1. – С. 47-53.
- [3] Global Burden of Disease Study 2019 (GBD 2019) / Data Resources. – Режим доступу: <https://ghdx.healthdata.org/gbd-2019> – Назва зі сторінки Інтернету
- [4] Kiranyaz S. Real-Time Patient-Specific ECG Classification by 1-D Convolutional Neural Networks / S. Kiranyaz, T. Ince, M. Gabbouj // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 63 (3) – 2016. – pp. 664-675.
- [5] Kamaleswaran R. A robust deep convolutional neural network for the classification of abnormal cardiac rhythm using single lead electrocardiograms of variable length / R. Kamaleswaran, R. Mahajan, O. Akbilgic // *Physiological Measurement*, vol. 39 (3), 035006 – 2018.
- [6] Ribeiro A. Automatic diagnosis of the 12-lead ECG using a deep neural network / Ribeiro A., Ribeiro M., Paixão G. // *Nat Commun*, vol. 11, 1760 – 2020.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Лисенко Ю.Ю.*

## УДК 004.93

*М.Ю. Заболуєва, студентка гр. ПК-21мп, доктор філософії Момот А. С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕГМЕНТАЦІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕРЕЖІ ATTENTION U-NET**

**Анотація.** У статті розглядаються шляхи вирішення задач сегментації ультразвукових знімків. Розглянуто архітектури згорткових нейронних мереж. Проаналізовано ефективність даних моделей та запропоновано перспективну модель для якісної обробки ультразвукових зображень. Проведено аналіз роботи алгоритму сегментації.

**Ключові слова:** нейронні мережі, сегментація, ультразвук, медична діагностика, згорткові нейронні мережі, глибинне навчання.

#### **ВСТУП**

Наразі відзначається широке впровадження комп'ютерних технологій у медицині. Використання та аналіз штучного інтелекту визначають перспективну галузь, що сприяє прискоренню розвитку медичної науки. З метою автоматизації, підвищення ефективності та поліпшення точності методів діагностики пропонується застосування згорткових нейронних мереж.

У медицині неможливо уникнути використання зображень, які допомагають лікарям більш ефективно ставити діагнози. Сегментація медичних зображень є важливим етапом обробки. Актуальною задачею є розробка алгоритму для сегментації ультразвукових (УЗ) зображень з метою виявлення та відокремлення новоутворень.

#### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Використання машинного навчання для сегментації медичних зображень є надійним інструментом для аналізу. Одним з ключових аспектів у вирішенні задачі сегментації є вибір оптимальної архітектури нейронної мережі, яка забезпечить високу точність та повноту (recall) відокремлення об'єктів, сприяючи виявленню захворювань. У сфері обробки зображень та розпізнавання образів існує розмаїття архітектур нейронних мереж, кожна з яких має свої переваги та недоліки [1].

У статті [2] розглянуті моделі згорткових нейромереж: FCN, Tiramisu та U-Net. Згідно з результатами сегментації відповідними нейронними мережами, модель U-Net показала найкращий результат, досягнувши долю правильних відповідей на рівні 84,6% на тестових даних. Проте, дана мережа має значний недолік, а саме використовується для навчання на невеликих наборах даних або коли швидкість навчання є критично важливою. Пропонується розглянути модифікацію цієї моделі, Attention U-Net, яка останнім часом показує найкращі результати в задачах сегментації.

«Attention», в контексті сегментації зображень, це спосіб виокремити тільки відповідні активації протягом навчання. Це сприяє зменшенню витрат обчислювальних ресурсів на нерелевантні активації, забезпечуючи мережу кращою потужністю. Тобто, мережа може звернути «увагу» на певні деталі зображення.

Attention може бути у двох формах: жорсткий і м'який. Жорстка форма

працює на основі виділення відповідних областей шляхом кадрування зображення або ітеративної пропозиції області. Оскільки жорстка форма може вибрати лише одну область зображення за один раз, виникає два недоліки: вона не диференційована та потребує навчання з підкріпленням для тренування. М'яка форма працює шляхом зважування різних частин зображення. Области високої релевантності помножуються на більшу вагу, а області низької позначаються тегами з меншою вагою. Під час навчання моделі більше уваги приділяється областям із більшою вагою. На відміну від жорсткої форми, ці ваги можна застосовувати до багатьох областей зображення.

Результати отримані авторами роботи [3] показують, що Attention U-Net перевершує звичайну U-Net за загальним коефіцієнтом Dice зі значним відривом і, незважаючи на наявність більшої кількості параметрів, має таку саму швидкість навчання.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для навчання нейронної мережі було використано відкритий набір даних [4]. Набір даних містить 780 ультразвукових зображень МЗ у 600 жінок у віці від 25 до 75 років. Вони поділяються на три класи: без патологій, доброякісні та злоякісні пухлини.

Для пришвидшення експерименту використовувався підхід Transfer learning. Мережа Attention U-Net, яка використана в експерименті, була попередньо навчена на наборі даних ImageNet. Архітектура моделі складається з блоку декодера, блоку енкодера та блоків Attention Gate (рисунок 1). Метрикою обрано Accurasy, оптимізатор – Adam, функція втрат – binary crossentropy. Також використано метрику Mean IOU (Intersection over Union) для оцінки якості сегментації. В результаті навчання мережа показала долю правильних відповідей на рівні 96,52% на тестових даних. Графік функції втрат не є ідеальним і збільшується на останніх ітераціях.

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок, що модель показала гарний результат і може використовуватися в якості системи підтримки прийняття рішень. Приклад результатів сегментації зображення із тестового набору показано на рисунку 2.

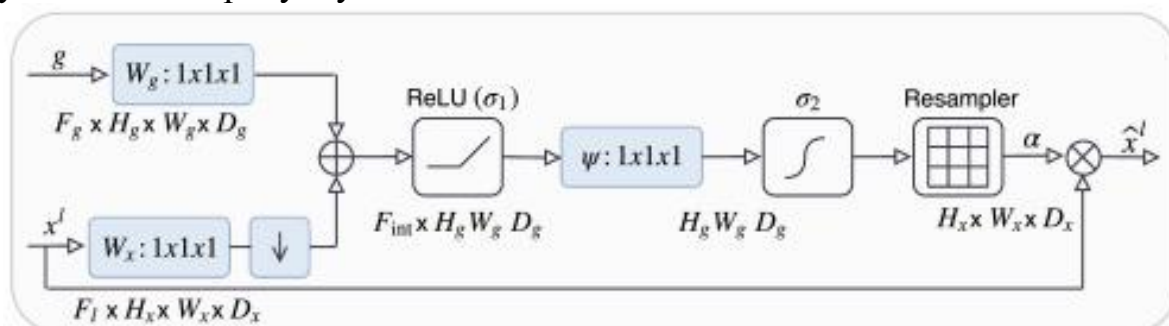


Рисунок 1. Архітектура блоку Attention Gate

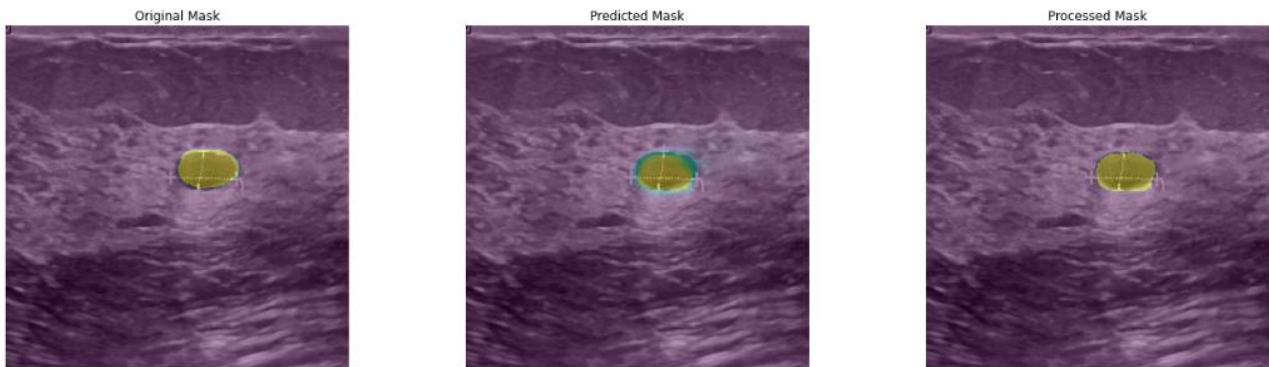


Рисунок 2. Результати сегментації УЗ зображення

## ВИСНОВКИ

Питання раннього виявлення патологій, диференціювання пухлин молочних залоз (МЗ) актуальні у зв'язку з високою захворюваністю та смертністю жіночого населення внаслідок онкології. Запровадження автоматизованої системи для сегментування ультразвукових знімків може спростити працю лікарів та збільшити точність у постановці діагнозу. Проаналізувавши моделі нейронних мереж, найкращою для задач сегментації виявилась Attention U-Net, що є простим способом послідовного вдосконалення U-Net у великій різноманітності наборів даних без значних накладних витрат з точки зору обчислювальних витрат. Згідно з отриманими результатами, розроблений алгоритм сегментації виявився успішним проектом і може бути використаний як надійна система підтримки прийняття рішень у медичній діагностиці. Основним завданням для подальших досліджень є розроблення інтерфейсу у середовищі NI LabVIEW, який може включати інструменти для вимірювання розміру пухлини, щільності та інших параметрів, і поєднання його зі створеним алгоритмом сегментації для отримання більш інформативних результатів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Momot A. Deep Learning Automated System for Thermal Defectometry of Multilayer Materials / A. Momot, R. Galagan, V. Gluhovskii. // Devices and Methods of Measurements. — 2021. — №12. — pp. 98–107.
- [2] Ronneberger, Olaf, Philipp Fischer, and Thomas Brox. // U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. — Springer, Cham, — 2015. — pp. 155–170.
- [3] Oktay, Ozan, et al. Attention u-net: Learning where to look for the pancreas. // arXiv preprint. — 2018. — pp. 99–119.
- [4] Al-Dhabyani W, Goma M, Khaled H, Fahmy A. Dataset of breast ultrasound images. Data in Brief. 2020 Feb; 28:104863.

*Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С*

УДК 620.179.16

М. В. Куранда, студ. гр. ПК-21мп  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ З ВІДДАЛЕНОЮ ОБРОБКОЮ ДАНИХ

**Анотація.** Робота є підсумком результатів дослідження зразків з порошкових матеріалів, проведеного з метою перевірки точності системи з віддаленою обробкою даних на базі смартфона. Дослідження проведено шляхом порівняння результатів вимірів системи з віддаленою обробкою даних на базі смартфона з результатами, отриманими за допомогою схожого за характеристиками приладу Einstein-II, а також зразковим спеціалізованим обладнанням – мікрометром.

**Ключові слова :** смартфон, порошкові матеріали, відносна похибка.

### ВСТУП

В даний час неруйнівний контроль є міждисциплінарною галуззю науки і техніки, яка забезпечує функціонування складних технічних систем в умовах багатофакторних ризиків. Але індустрія неруйнівного контролю має низку недоліків, таких як: обладнання, яке має складні користувальницькі інтерфейси, що часто роблять процес встановлення системи та вимірювання складним і трудомістким; велика складність процедури контролю, що включає перевірку та калібрування сенсорів, документування процесу вимірювання та відхилень від передбаченої процедури, інтерпретацію результатів, тощо; складний обмін даними між елементами системи НК, обсяг яких постійно збільшується, що спричиняє проблеми їх зберігання та обробки.

У зв'язку з цим виникає необхідність розглянути в цій галузі нові інформаційні технології, що ґрунтуються на інтелектуальному сприйнятті, технології розпізнавання, повсюдної мережевої інтеграції [1,2]. Цифрові та мобільні технології зробили електронні пристрої меншими, легшими та потужнішими. Однак прилади ультразвукового контролю, які присутні на ринку, не зазнали значних змін. Їх, як і раніше, важко освоїти, вони мають маленькі екрани та чисельні кнопки на застарілому обладнанні. Їхні можливості звітування та співпраці обмежені.

**Порошкові конструкційні матеріали** – це матеріали, які використовують порошки металів або їх сплави для створення компонентів, деталей чи виробів. Ці матеріали обробляються із застосуванням різних методів, таких як лазерне спікання, наплавлення, спікання під тиском, та інше з метою формування кінцевої деталі. Особливостями застосування порошкових конструкційних матеріалів є отримання порошкоподібних речовин та спікання заготовок з порошків при температурі нижче точки плавлення відповідного металу або найменш тугоплавкого компонента. Таким чином, послідовне здійснення в єдиному циклі операцій отримання порошку і перетворення його в виріб становить суть порошкової металургії[3].

Порошкові матеріали можуть включати металеві порошки та їх сплави, а також керамічні та полімерні порошки. А такі процеси як селективне лазерне спікання (SLM) або зв'язування порошку дозволяють створювати деталі складної форми з високою точністю і міцністю. Вони забезпечують високий рівень використання матеріалу, оскільки дозволяють виготовляти деталі без багатьох залишків чи відходів.

Порошкові конструкційні матеріали є унікальним класом матеріалів, який постійно розвивається і знаходить застосування в різних галузях промисловості, оскільки можуть мати різні інженерні властивості, включаючи міцність, теплопровідність, жорсткість та стійкість до корозії, які можуть бути налаштовані шляхом підбору складу порошку та процесів обробки.

## МЕТА РОБОТИ

На сьогодні існуючі методи не можливо використовувати при розробці оперативних систем контролю, тому що вони потребують спеціального обладнання для визначення кожної окремої характеристики матеріалу та не дають можливості оцінити вплив окремого технологічного процесу на формування внутрішньої структури матеріалу [3].

**Метою роботи** є дослідження точності неруйнівного контролю фізико-механічних характеристик (ФМХ) порошкових композиційних матеріалів за допомогою системи ультразвукової діагностики з віддаленою обробкою даних на базі смартфона (Рис.1) та порівняння результатів роботи системи з результатами, отриманими за допомогою професійного обладнання – схожого за характеристиками серійного приладу Einstein-II. Для отримання дійсного значення використано виміри за допомогою мікрометра.

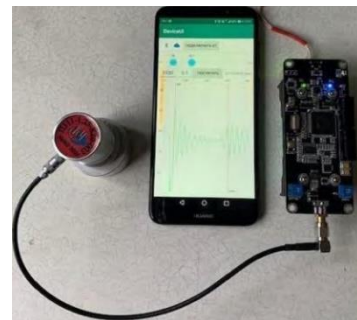


Рисунок 1. Система з віддаленою обробкою даних на базі смартфона.

## МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Зразки:** У якості досліджуваного матеріалу використано нітрид кремнію (Silicon Nitride) -  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (Рис.2). Бінарна неорганічна хімічна сполука, що є сполученням кремнію та азоту.

Вироби з нітриду кремнію отримують спіканням за високих температур, гарячим пресуванням, піролізом сполук кремнію. Високоякісні вироби виходять за допомогою спікання у газостатичних установках під високим тиском у присутності азоту. Нітрид кремнію важко отримати як єдиний матеріал через те, що він не може бути нагрітий більше  $1850^\circ\text{C}$  - це значно нижче температури плавлення (кремній і азот дисоціюють). Таким чином, застосування звичайного термічного методу спікання є проблематичним. Склеювання порошкоподібного нітриду кремнію може бути досягнуто за більш низьких температур шляхом додавання додаткових матеріалів, які зазвичай покращують рівень спікання. Альтернативою є метод використання іскрового плазмового спікання (Spark Plasma Sintering), де нагрівання здійснюється дуже швидко (в секундах), а імпульси електричного струму проходять через заздалегідь спресований порошок. Щільні вироби з нітриду кремнію отримують цим методом при температурах  $1500-1700^\circ\text{C}$ .



Рисунок 2. Кераміка з нітриду кремнію



**Виміри:** В ході дослідження було проведено по 3 виміри(В) товщини у трьох точках(Т) площини для п'яти кубічних зразків(З) за допомогою досліджуваної системи, а також серійного приладу Einstein-II.

Таблиця 1. Дані вимірювань(мм), отримані за допомогою досліджуваної системи та дефектоскопу Einstein-II.

		<i>Досліджувана система</i>									<i>Einstein-II.</i>								
№Т		1			2			3			1			2			3		
№В		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
№З																			
1		8	8.1	8	8	8	8	8.1	8.1	8.2	8.1	8.1	8	8.1	8	8	8.1	8	8.2
2		8.1	8.2	8.1	8.1	8	8.1	8	8	8.1	8	8.2	8.1	8	8	8.2	8.1	8.2	8.1
3		8	8	8.1	8	8.3	8.1	8.5	8.3	8.5	8.4	7.9	8	8.2	8.5	8	8.5	8.3	8.3
4		8.2	8.1	8.2	8.1	8.1	8.2	8.2	8.1	8.2	8.2	8.1	8.3	8.1	8.1	8.2	8.1	8.3	8.2
5		8	8.1	8.2	8.3	8	8.1	8	8	8	8.1	8.1	8	8.3	8.3	8	8	8.3	8

Таблиця 2. Середні для кожної точки(Т) площини дані вимірювань, округлені до другого знаку отримані за допомогою мікрометра, дефектоскопу Einstein-II та досліджуваної системи. А також середні для кожної площини, зразка та загальне значення відносної похибки(ВП), округлені до другого знаку.

		<i>Досліджувана система</i>				<i>Einstein-II</i>				<i>Мікрометр</i>	
№ Зразка	№ Т	ВП (%)		В (мм)	ВП (%)		В (мм)	В (мм)			
1	1	1.07	1.17	1.41	8.03	0.66	1.04	1.46	8.07	8.12	
	2	1.84			8.00	1.43			8.03	8.15	
	3	0.61			8.13	1.02			8.10	8.15	
2	1	0.66	1.04		8.13	1.06	1.03		8.10	8.16	
	2	1.02			8.03	1.43			8.07	8.15	
	3	1.43			8.03	0.61			8.13	8.15	
3	1	3.56	2.47		8.03	3.32	2.42		8.37	8.33	
	2	2.84			8.13	2.67			8.23	8.37	
	3	1.00			8.43	1.27			8.37	8.42	
4	1	0.45	0.84	8.17	0.85	0.97	8.20	8.19			
	2	1.06		8.13	1.05		8.13	8.22			
	3	1.01		8.17	1.01		8.20	8.25			
5	1	1.70	1.53	8.10	2.10	1.83	8.07	8.24			
	2	1.53		8.13	1.71		8.20	8.18			
	3	1.36		8.00	1.69		8.10	8.11			

Дослідження площини зразка у 3х точках обумовлене можливою неоднорідністю структури виробу, а різниця між відносними похибками у різних точках площини і вказує на виявлення неоднорідності. Вона може виникати через:

нерівномірне розподілення порошку при процесі формування виробу, пори та включення, текучість тонкоподрібнених порошоків. При застосуванні різних методів обробки можливі неоднорідності через неправильні параметри обробки або нерівномірне прогрівання. Фактори навколишнього середовища, такі як вологість або температурні коливання, також можуть викликати неоднорідність у структурі виробів. Для підвищення якості структури виробів використовуються методи контролю процесів виробництва, дослідження ФМХ матеріалів на різних етапах виробництва.

## ВИСНОВКИ

В результаті дослідження виявлено, що відносна похибка ультразвукової системи діагностики на базі смартфона з віддаленою обробкою даних відносно мікрометра становить 1.41%. Похибка дефектоскопу Einstein-II становить 1.46%. Таким чином, отримані результати показують, що досліджувана система не поступається серійному аналогу, та навіть має ряд переваг над професійним обладнанням. А саме доступність та невелику вартість, можливість передачі отриманих даних безпосередньо до центру обробки інформації, який володіє потужним обладнанням або у змарне сховище, що дозволить отримувати доступ до оперативної інформації для її вивчення та обробки будь-якому фахівцю з будь-якої точки світу [4,5]. Отже, така система може бути використана для контролю якості виготовлення виробів з порошкових матеріалів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Kren A.P., Delendyk M.N., Ivanov V.P. Industry 4.0: Transformations in Non-Destructive Testing. Science and innovation. 2019. No. 2 (192). P. 28–32.
- [2] Meier J, Tsalicoglou I., Mennicke R. The future of NDT with wireless sensors, A.I. and IoT. Proceedings 15th Asia Pacific Conference for Non-Destructive Testing, Singapore, November 13–17, 2017. P. 1–11.
- [3] Богдан Г. А. Вдосконалення ультразвукового методу контролю фізико-механічних характеристик порошкових матеріалів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : [спец.] 05.11.13 "Прилади і методи контролю та визначення складу речовин" / Богдан Галина Анатоліївна ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського". Київ, 2017. 24 с.
- [4] Куц, Ю.В. Исследование импульсной вихретоковой системы контроля диэлектрических покрытий / Ю. В. Куц, В. Ф. Петрик, О. Л. Дугин, Ю. Ю. Лисенко // Журнал «Научни Известия НТСМ»: материалы международной конференции «Дни НК 2014», 09-18 червня, 2014 р. Созополь, 2014. № 150 С. 28–30.
- [5] Петрик В.Ф. Використання серійних мобільних пристроїв при проектуванні портативних дефектоскопів / Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Серый К.Н., Повшенко А.А. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019. Том 30 (69), Ч. 2, № 6. С.12-16.

*Наук. керівник – к. т. н., доц. Петрик В.Ф.*

УДК 620.179.14

П.І. Лабунський, студент гр. ПК-21мп, к.т.н., доц. Баженів В.Г.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АВТОМАТИЧНА ВИХРОСТРУМОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ З ФІКСАЦІЄЮ КООРДИНАТ ДЕФЕКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОЇ МИШІ

**Анотація.** Стаття присвячена аналізу автоматичної вихрострумової системи з можливістю фіксації координати дефекту за допомогою комп'ютерної миші. В даній статті запропоновано об'єднання схеми багатофункціонального вихрострумового дефектоскопа та комп'ютерної миші. Корпус пропонується використати від комп'ютерної миші. Через це робиться акцент на мінімізації розмірів схеми, що слугує оптимізації дефектоскопа і вибору відповідних електронних компонентів. Також, приділено увагу ціні та малому енергоспоживанню. Ця система дасть можливість знаходити положення і характеристики дефекту з можливістю автоматизовано вносити їх до протоколу.

**Ключові слова:** дефектоскоп, вихрострум, мишка комп'ютера, фіксація координат, автоматична система.

### ВСТУП

У сучасному світі інформаційних технологій важливо своєчасне виявлення дефектів у металевих деталях. Це є актуальною задачею, оскільки внаслідок неконтрольованого розвитку дефектів може відбутися руйнування деталей, що може призвести до аварій або навіть фатальних наслідків.

На сьогодні, одним з основних методів для знаходження дефектів в металевих деталях в неруйнівному контролі є вихрострумний метод. Принцип технології вихрострумової дефектоскопії полягає в розміщенні котушки на зразку для генерації збуджувального магнітного поля змінної частоти. Внаслідок появи вихрових струмів створюється вторинне магнітне поле, яке містить інформацію про дефекти в зразку, яку ми отримуємо за допомогою вихрострумового перетворювача. Причому, деякі дефекти, наприклад, мікротріщини, можливо виявити лише вихрострумним методом. Цей метод є потужним інструментом для контролю металевих виробів. Він має велику чутливість до змін структури, що дозволяє знайти навіть дрібні зміни у структурі матеріалу чи наявність дефектів. Також його відносно легко автоматизувати, що сприяє підвищенню продуктивності та зменшенню людського впливу на процес.

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Аналізуючи наявні вихрострумні сучасні дефектоскопи, такі як EddyMax 4U, Phasec 2000, MIZ-27, ELOTEST B300, ELOTEST PL.E, та інші [1]. Можна зробити висновки, що попри свою технічну потужність, ці дефектоскопи, вражають своєю функціональністю, але через складність схеми та дороговизну компонентів, ціна таких дефектоскопів дуже велика. Крім того, такі дефектоскопи мають вагу від 3 до 14 кг, а розміри варіюються від 210 мм до 450 мм, це може викликати труднощі при транспортуванні та зберіганні. Важкість та розміри можуть обмежувати мобільність оператора і при багато годинній роботі з об'єктом контролю оператор швидко втомлюється. Також у цих дефектоскопів відсутня можливість автоматизації оформлення протоколів контролю, на що витрачається дуже багато часу. Тому автоматизація цього процесу дуже актуальна.

## ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Була поставлена задача, автоматизувати контроль з одночасним оформленням протоколу діагностики. Для цього авторами доповіді було запропоновано, використати мишку комп'ютера, для позиціонування координати дефекту, при цьому мінімізувати конструкцію так, щоб розміри дозволили розміститися в корпусі мишки. Відповідно приділено увагу вибору схеми дефектоскопа і вибору деяких компонентів для її реалізації. Для фіксації координат і параметрів дефектів був розроблений алгоритм роботи системи, що була написана в програмі LabVIEW [2].

Для розв'язання цієї задачі запропоновано використовувати схему багатофункціонального вихрострумowego дефектоскопа рис. 1 [3].

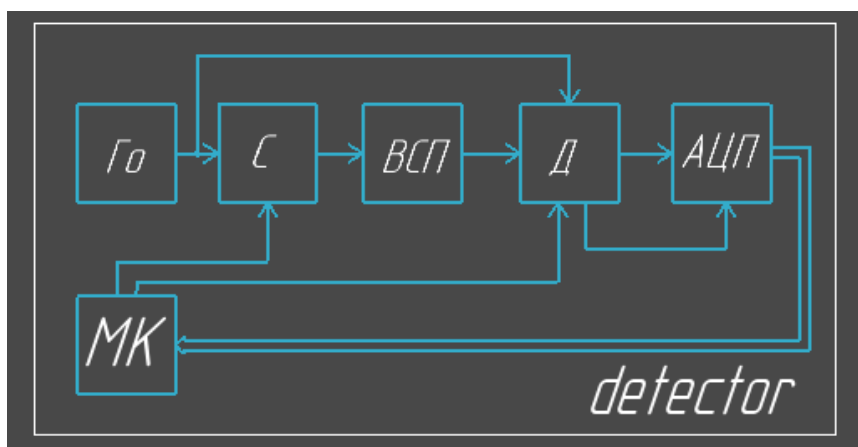


Рис. 1. Функціональна схема цифрового багатофункціонального вихрострумowego дефектоскопа

Де Го - послідовно з'єднані генератори опорних імпульсів; С - синтезатор з програмою зміни частоти та фази; ВСП - вихрострумовой перетворювач; Д - програмно синхронний демодулятор; АЦП - аналого-цифровий перетворювач; МК - мікроконтролер.

Головна перевага цієї схеми в тому, що вона реалізує ортогональний спосіб обробки даних в цифровому вигляді, що значно спростило обробку даних без використання складних процесорів цифрової обробки сигналів. Даний дефектоскоп будується на базі найсучасніших електронних компонентах, таких як мікроконтролери та мікросхеми, що дає змогу гнучко її налаштувати за допомогою перепрограмування мікроконтролера. Можна легко змінювати частоту, амплітуду, фазу і параметри налаштування фільтра. Цей підхід дозволяє максимально зменшити розміри схеми та реалізувати її в мінімальних габаритах, що для нас є головним у виборі дефектоскопа. Також, його ціна буде дешевою і мати мале енергоспоживання.

Було створено експериментальну схему системи для її моделювання рис. 2.

Для цієї системи було обрано генератор КХО-V93 [4], через його малі розміри. Мікросхема синтезатора AD9834 [5], що реалізує метод DDS, яка має дуже малі розміри та вживає енергії менше ніж 20 мВт. Як програмований синхронний демодулятор - мікросхема ADA2200 [6], яка вживає енергії менше 5 ніж мВт. Запропонований мікроконтролер STM32F103C8T6 [7]. Він має ряд

переваг, внутрішній АЦП, компактність, мале енергоспоживання і він має розширені можливості в програмуванні, що для нашої системи важливо. Також, доданий підсилювач MC33172 [8], після вихрострумowego перетворювача, щоб посилити його сигнал. Оскільки, АЦП має вимірювати постійну напругу незалежно від частоти збудження ВСП, то можна обійтись без зовнішнього швидкодіючого АЦП і замінити його внутрішнім АЦП мікроконтролера, це спростить схему, що є актуальною задачею.

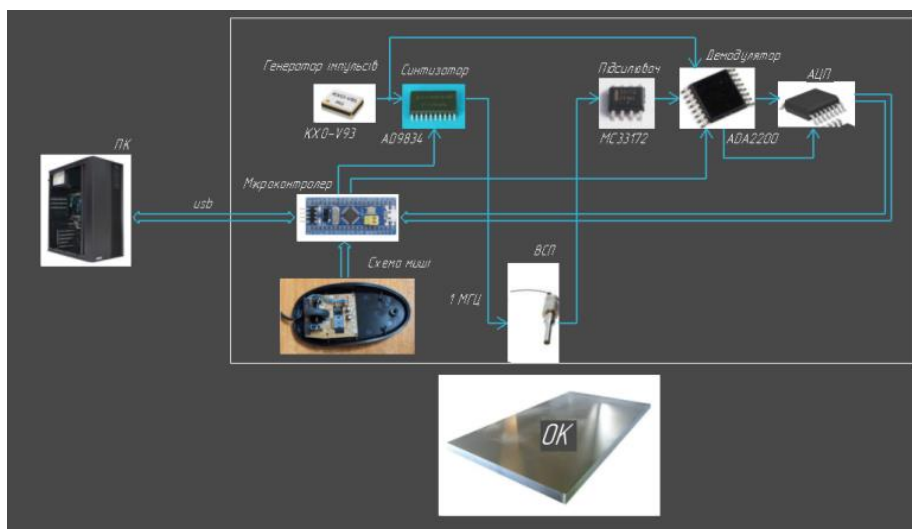


Рис. 2. Блок-схема системи.

Оскільки дана система використовує звичайну комп'ютерну мишку, сенсор якої може визначити рух тільки по площині, то контролювати можна тільки плоскі об'єкти.

Після програмування мікропроцесора, була створена графічна програма для зручного використання даної системи в LabVIEW рис. 3.

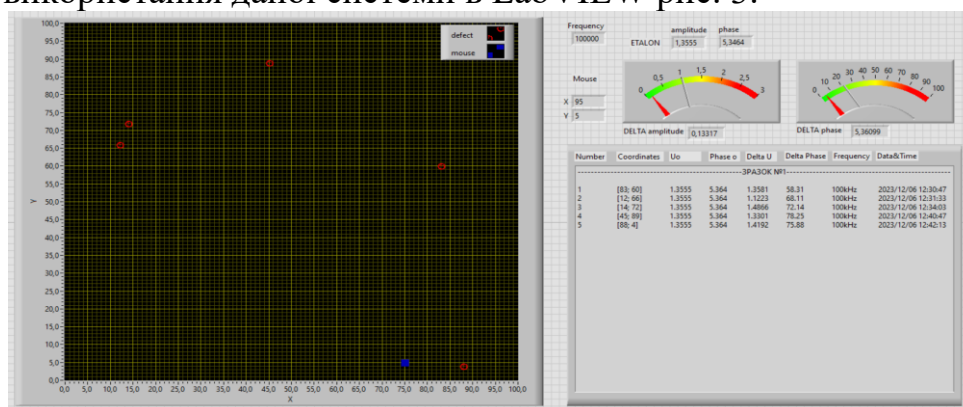


Рис. 3. Інтерфейс програми.

Дана програма створена для зручного користування системою. В ній є графік XY і поле, які показують координату миші в реальному часі. Також, при пошуку дефектів і при їх знаходженні, що можна зрозуміти по зміні фази та амплітуди, при перетині їх критичних значень, є можливість запису і збереження параметрів дефекту, для використання їх у формуванні протоколу. Загалом протокол, це текстовий файл, в якому збережені такі параметри: номер дефекту, координата дефекту, еталонні амплітуда та фаза, зміни амплітуди і фази в координаті дефекту, частота на якій проводилось вимірювання, дата і час виміру.

## ВИСНОВКИ

Розроблена система використовує схеми миші та багатофункціонального вихрострумове дефектоскопа, завдяки чому, дає можливість контролювати зміни амплітуди та фази та визначати її координату і заносити всі характеристики в протокол. Також, у програми доволі зручний інтерфейс, що дозволить проводити контроль з одночасним оформленням протоколу контролю за дуже короткий термін.

Дана система побудована на найсучасніший елементній базі, її енергоспоживання дуже мале, при цьому її ціна набагато менша, ніж в аналогів. Також, вона вийшла компактною і легкою, що підвищить комфорт її використання та транспортабельність. В подальшу її можна доопрацювати, замінивши “USB” на бездротові системи передачі даних (наприклад, Bluetooth).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Учанін, В. М. накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання : навч. посіб. / В. М. Учанін. — Львів: СПОЛОМ, 2013. — 268 с.
- [2] LabVIEW, "National Instruments," [Online]. — Режим доступу: [www.URL: http://www.ni.com/labview/pt/](http://www.ni.com/labview/pt/).
- [3] Патент України на винахід №117877 від 10.10.2018 МПК G01N27/61 (2006.01), G01N27/90 (2006.01) Бюл.№19/2018 від 10.10.2018 номер заявки 2017 01266 від 13.02.2017р.
- [4] Clock Oscillator SMD-version [Електронний ресурс] — Режим доступу: [www.URL: https://www.geyer-electronic.de/wp-content/uploads/2022/11/KXO-V93T.pdf](https://www.geyer-electronic.de/wp-content/uploads/2022/11/KXO-V93T.pdf)
- [5] AD9834 Datasheet(PDF) [Електронний ресурс] — Режим доступу: [www.URL: https://html.alldatasheet.com/html-pdf/48601/AD/AD9834/20/1/AD9834.html](https://html.alldatasheet.com/html-pdf/48601/AD/AD9834/20/1/AD9834.html)
- [6] ADA2200 Datasheet(PDF) [Електронний ресурс] — Режим доступу: [www.URL: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ada2200&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiAvdCrBhBREiwAX6-6UvGOfsdJjxz3Y\\_d-5ywrfo04OZzjBpbg3wXZGXALSTjcLsn1to9HcRoCJbIQAvD\\_BwE](https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ada2200&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAvdCrBhBREiwAX6-6UvGOfsdJjxz3Y_d-5ywrfo04OZzjBpbg3wXZGXALSTjcLsn1to9HcRoCJbIQAvD_BwE)
- [7] STM32F103C8T6 Datasheet (PDF) [Електронний ресурс] — Режим доступу: [www.URL: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/201596/STMICROELECTRONICS/STM32F103C8T6.html](https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/201596/STMICROELECTRONICS/STM32F103C8T6.html)
- [8] MC33172 Datasheet (PDF) [Електронний ресурс] — Режим доступу: [www.URL: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/23291/STMICROELECTRONICS/MC33172.html](https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/23291/STMICROELECTRONICS/MC33172.html)

*Наук. керівник – к.т.н. доц. Баженов В.Г.*

## УДК 681.518.2

*Б.В. Лесковець, студент гр. ПК-21мп, к.т.н., доц. Богдан Г.А.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**Анотація:** У роботі описано автоматизовану систему дистанційного моніторингу стану навколишнього середовища. Описано показники атмосферного повітря, їх вплив на життя людей, вплив антропогенних чинників на їх зміну. Показана структурна схема системи моніторингу, описані її структурні елементи. Сформовано основні задачі систем дистанційного моніторингу стану навколишнього середовища.

**Ключові слова:** автоматизація, дистанційний моніторинг, навколишнє середовище

#### **ВСТУП**

Забруднення повітря призводить до розвитку багатьох видів захворювань, серед яких переважають серцево-судинні та онкологічні. За проведеними дослідженнями [1] найбільше від забрудненого повітря страждає населення країн із середнім та низьким рівнем доходу. За даними Європейського Бюро ВООЗ забруднення атмосферного повітря є головною причиною близько 10% всіх випадків респіраторних захворювань серед дітей, 3-7% нових випадків хронічних обструктивних захворювань органів дихання, 3-15% нових випадків бронхіальної астми [2].

Застосування систем віддаленого моніторингу атмосферних показників є ефективним методом виявлення джерел змін у довкіллі. Зібрана інформація дозволяє аналізувати та прогнозувати тренди як на глобальному, так і на місцевому рівні на урбанізованих територіях. Це дозволяє запроваджувати заходи проти джерел викидів, зменшуючи їх негативний вплив на довкілля.

#### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Індустріалізація, призвела до швидкого зростання урбанізації населення. Внаслідок цього зростає антропогенний вплив на навколишнє середовище, включаючи будівництво нових промислових підприємств, збільшення транспортних потоків та використання викопних паливних ресурсів [2].

Розвиток у галузі віддаленого моніторингу дозволяє збирати значні дані на великих площах з високою щільністю заселення для глобальних досліджень та впровадження законодавчих норм з нормування викидів у містах. Встановлення моніторингу на підприємствах для контролю забруднення може сприяти зниженню впливу на здоров'я та працездатність робітників, а також поліпшенню надійності устаткування. Зібрані дані аналізу протягом певного періоду дозволяють виявляти проблеми на виробництві та приймати рішення щодо їх вирішення [3-4].

Державною гідрометеорологічною службою здійснюються спостереження за забрудненням атмосферного повітря у 53 містах України на 162 стаціонарних постах спостережень [5]. Але такої кількості постів не достатньо для адекватної оцінки стану забруднення атмосфери. Для усунення вказаного недоліку доцільно доповнити чинну мережу новими пунктами спостережень, які були б обладнані сучасними дешевими системами автоматичного контролю параметрів повітря.

На Рис. 1 представлено структурну схему такої системи.

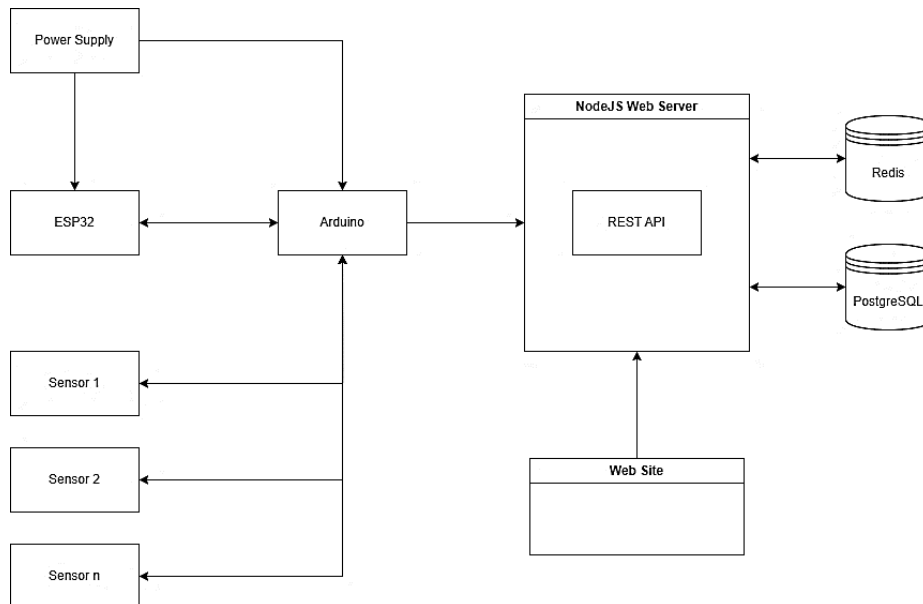


Рис 1. Структурна схема системи моніторингу навколишнього середовища

Апаратну частину такої автоматизованої системи було реалізовано на базі платформи Arduino UNO з використанням датчика DHT21, що дозволяє моніторити та передавати дані про кліматичні умови. Для розширення можливостей системи, щодо оцінки наявності шкідливих речовин у повітрі, доцільно використовувати інші типи датчиків. На Рис.1 приведена структурна схема розробленої системи моніторингу параметрів навколишнього середовища.

Як можна бачити з Рис.1, система складається з сукупності датчиків які збирають дані про забруднення та передають його на обробку до мікропроцесора на базі Arduino Uno. За допомогою мікропроцесора ESP32 забрані дані, шляхом використання IoT технологій, передаються на веб-сервер.

Веб-сервер являє собою додаток NodeJS з використанням TypeScript та фреймворку NestJS що дозволяє вести модульну розробку додатка, та безпроблемно розширювати його функціонал. Отримані веб-сервером дані зберігаються до PostgreSQL бази даних. Зібрані дані можна виводити на веб-інтерфейс для подальшого аналізу.

Прототип розробленої системи представлено на Рис.2.

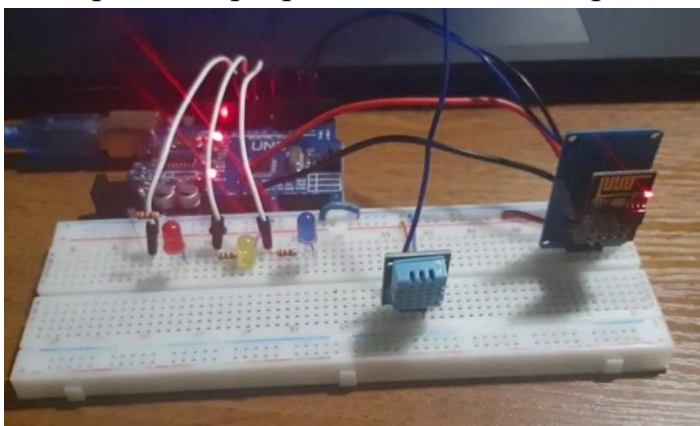


Рис 2. Система моніторингу атмосферного повітря на базі платформи Arduino UNO

В представленому прикладі відбувається збір даних температури та вологості в приміщенні. На фото (Рис. 3) представлений приклад результатів моніторингу, на якому можна бачити зміну показників відносно часу.

Дана автоматизована система дозволяє проводити раннє виявлення змін в стані навколишнього середовища в реальному часі. Це дозволяє

оперативно реагувати на негативні тенденції та уникнути серйозних проблем.



id	data	temp	humidify	light	createdAt	updatedAt
5459	NULL	2230	40.00	0.00	2021-11-21 14:59:07.056+00	2021-11-21 14:59:07.056+00
5458	NULL	2220	39.00	0.00	2021-11-21 14:58:56.173+00	2021-11-21 14:58:56.173+00
5457	NULL	2220	39.00	0.00	2021-11-21 14:58:45.304+00	2021-11-21 14:58:45.304+00
5456	NULL	2220	39.00	0.00	2021-11-21 14:58:34.416+00	2021-11-21 14:58:34.416+00
5455	NULL	2220	39.00	0.00	2021-11-21 14:58:23.521+00	2021-11-21 14:58:23.521+00
5454	NULL	2220	39.00	0.00	2021-11-21 14:58:12.636+00	2021-11-21 14:58:12.636+00
5453	NULL	2220	39.00	0.00	2021-11-21 14:58:01.752+00	2021-11-21 14:58:01.752+00
5452	NULL	2220	39.00	0.00	2021-11-21 14:57:50.874+00	2021-11-21 14:57:50.874+00
5451	NULL	2220	38.00	0.00	2021-11-21 14:57:39.994+00	2021-11-21 14:57:39.994+00
5450	NULL	2220	38.00	0.00	2021-11-21 14:57:29.12+00	2021-11-21 14:57:29.12+00
5449	NULL	2220	38.00	0.00	2021-11-21 14:57:18.213+00	2021-11-21 14:57:18.213+00
5448	NULL	2220	38.00	0.00	2021-11-21 14:57:07.311+00	2021-11-21 14:57:07.311+00

Рис 3. Результати роботи системи моніторингу якості повітря

Використання таких систем моніторингу можуть охоплювати великі території, надаючи глобальний огляд стану довкілля. Це особливо важливо для великих міських або промислових областей.

## ВИСНОВКИ

Розроблена система моніторингу атмосферного повітря забезпечує постійний збір та аналіз великої кількості даних. Це дозволяє вчасно виявляти та аналізувати тренди зміни в навколишньому середовищі. Вчасне виявлення забруднень повітря та інших шкідливих факторів дозволяє уникати потенційно небезпечних ситуацій та захищати здоров'я населення.

Зібрані дані можуть бути використані для проведення наукових досліджень щодо впливу різних чинників на довкілля та розробки нових стратегій управління ресурсами.

Система може бути встановлена в труднодоступних областях, що дозволяє отримувати дані з місць, які раніше були важко досяжними для моніторингу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В. Sofia D., Giuliano A., Gioiella F. Air quality monitoring network for tracking pollutants. The case study of Salerno city center // *Chemical Engineering Transactions*. 2018. № 68, P. 67-72. doi: 10.3303/CET1868012
- [2] Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>
- [3] Богдан Г.А., Глущенко М.О. Загальні тенденції побудови автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* – 2023. – Том. 34 (73), №4. – С. 12-17. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/03>
- [4] Богдан Г.А., Глущенко М.О., Протасов А.Г Система моніторингу якості повітря на промислових підприємствах. *XXII Міжнародна науково-технічна конференція "Приладобудування: стан і перспективи", 16-17 травня 2023р., м. Київ, Україна : збірник тез доповідей.* – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С. 283–285.
- [5] Беляєва І.В., Сергієнко У.В. Заходи щодо удосконалення системи моніторингу атмосферного повітря міста Донецька *Матеріали міжнародної наук.-практ. конф. «Екологія: наука, освіта, природоохоронна діяльність.»* – К.: *Наук. світ*, 2007. – С. 124-125.

## УДК 681.518.2

*М.О. Падій, студент гр. ПК-21мп, к.т.н., доц. Богдан Г.А.,*

*к.ф.м.н., доц. Суліма О. В.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТУ СЕРВЕРНОЇ КІМНАТИ**

*Анотація:* У даній роботі представлена автоматизована система контролю мікроклімату для серверних кімнат. Описано параметри мікроклімату, їх вплив на ефективність обладнання, та важливість забезпечення оптимальних умов для надійності роботи серверів. Подано структурну схему системи та основні функції автоматизації контролю мікроклімату

**Ключові слова:** автоматизація, контроль мікроклімату, серверна кімната

#### **ВСТУП**

На сьогоднішній день, переважна більшість компаній використовує високотехнологічне інформаційне обладнання для забезпечення своєї діяльності. Для надійного функціонування та безперебійної роботи таких інформаційних систем необхідно використовувати спеціальне серверне приміщення в якому розташовують телекомунікаційне обладнання.

Надійність та ефективність роботи цих серверних кімнат напряму пов'язана з умовами їх експлуатації, зокрема з мікрокліматом у серверних кімнатах [1,2]. У цьому контексті стає важливим розглядати інтегровані системи контролю мікроклімату, які забезпечують оптимальні умови для надійності та ефективності обладнання[3, 4].

#### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Система моніторингу мікроклімату повинна забезпечувати в контрольованому серверному приміщенні визначений рівень вологості та температури, необхідний для оптимальної роботи активного обладнання незалежно від сезону, і має бути спроектована для цілодобової безперервної роботи [1,2].

До основних параметрів, які підлягають обов'язковому контролю такими системами відносять: температура приміщення, вологість повітря, наявність мілко дисперсних включень (пил) в повітрі приміщення [5]. Розглянемо різні аспекти впливу мікроклімату на обладнання серверних кімнат та яким чином автоматизована система контролю мікроклімату може допомогти забезпечити оптимальні умови функціонування телекомунікаційного обладнання.

Аспекти впливу мікроклімату на обладнання серверних кімнат:

1. Температура. Висока температура може призвести до перегріву телекомунікаційного обладнання, що впливає на їхню ефективність роботи та може призвести до виникнення аварійної ситуації [1].
2. Вологість. Недостатня або занадто велика вологість повітря може спричинити корозію та коротке замикання у серверах, порушуючи їхню роботу[2].
3. Пил та частки. Забруднення повітря може негативно впливати на системи охолодження та роботу вентиляторів телекомунікаційних систем.

На Рис. 1 представлена структурна схема автоматизованої системи контролю мікроклімату серверної кімнати, яка вирішує такі задачі:

- контроль температури та вологості у серверному приміщенні;
- архівування значень параметрів мікроклімату;
- подання сигналів аварії при перевищенні встановлених значень параметрів мікроклімату у приміщенні;
- повідомлення користувачів про виникнення аварійних ситуацій через Інтернет та мережу мобільного зв'язку.

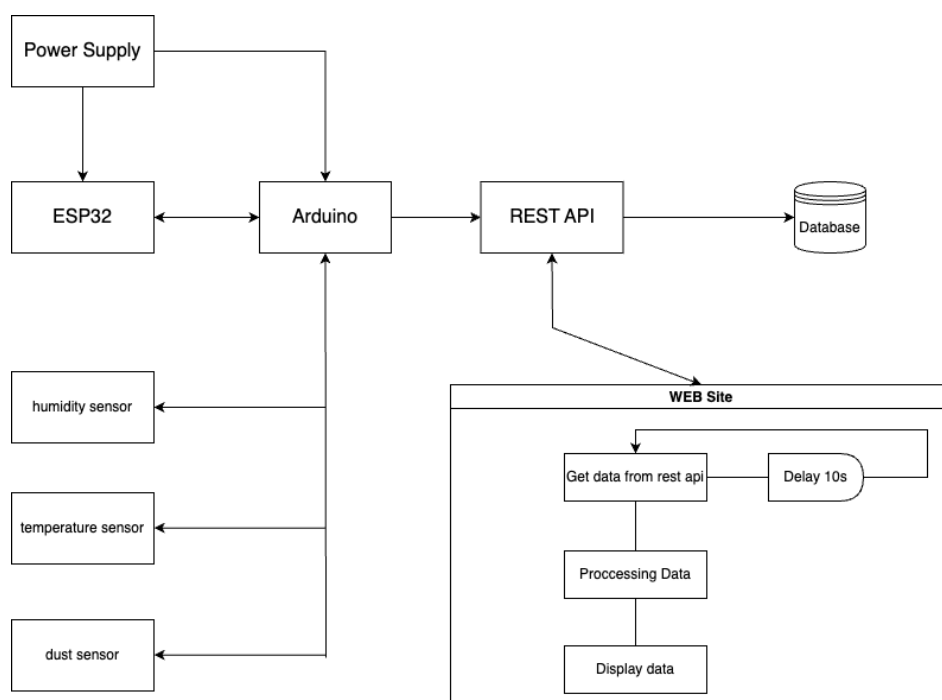


Рис 1. Структурна схема системи моніторингу серверної кімнати з веб застосунком

Система контролю мікроклімату серверної кімнати використовує апаратну базу на основі платформи Arduino UNO та датчика DHT21 для постійного відстеження та передачі даних щодо кліматичних умов. З метою розширення можливостей системи у визначенні наявності шкідливих речовин у повітрі розглядається використання інших типів датчиків.

Згідно з рисунком 1, система складається з різноманітних датчиків, які збирають дані про забруднення та передають їх для обробки до мікропроцесора на базі Arduino Uno. З використанням мікропроцесора ESP32 отримані дані, за допомогою технологій Інтернету речей (IoT), передаються на веб-сервер. Веб-сервер, який є застосунком NodeJS і використовує TypeScript та фреймворк NestJS, дозволяє модульну розробку та легке розширення функціоналу. Зібрані веб-сервером дані зберігаються в базі даних PostgreSQL і можуть відображатися на веб-інтерфейсі для подальшого аналізу.

Цей інтегрований підхід до моніторингу мікроклімату серверної кімнати, який комбінує апаратну базу Arduino та ESP32 з веб-сервером NodeJS, створює потужну та гнучку інфраструктуру для збору, передачі та аналізу даних щодо умов експлуатації серверного обладнання.

Прототип розробленої системи представлено на Рис.2.

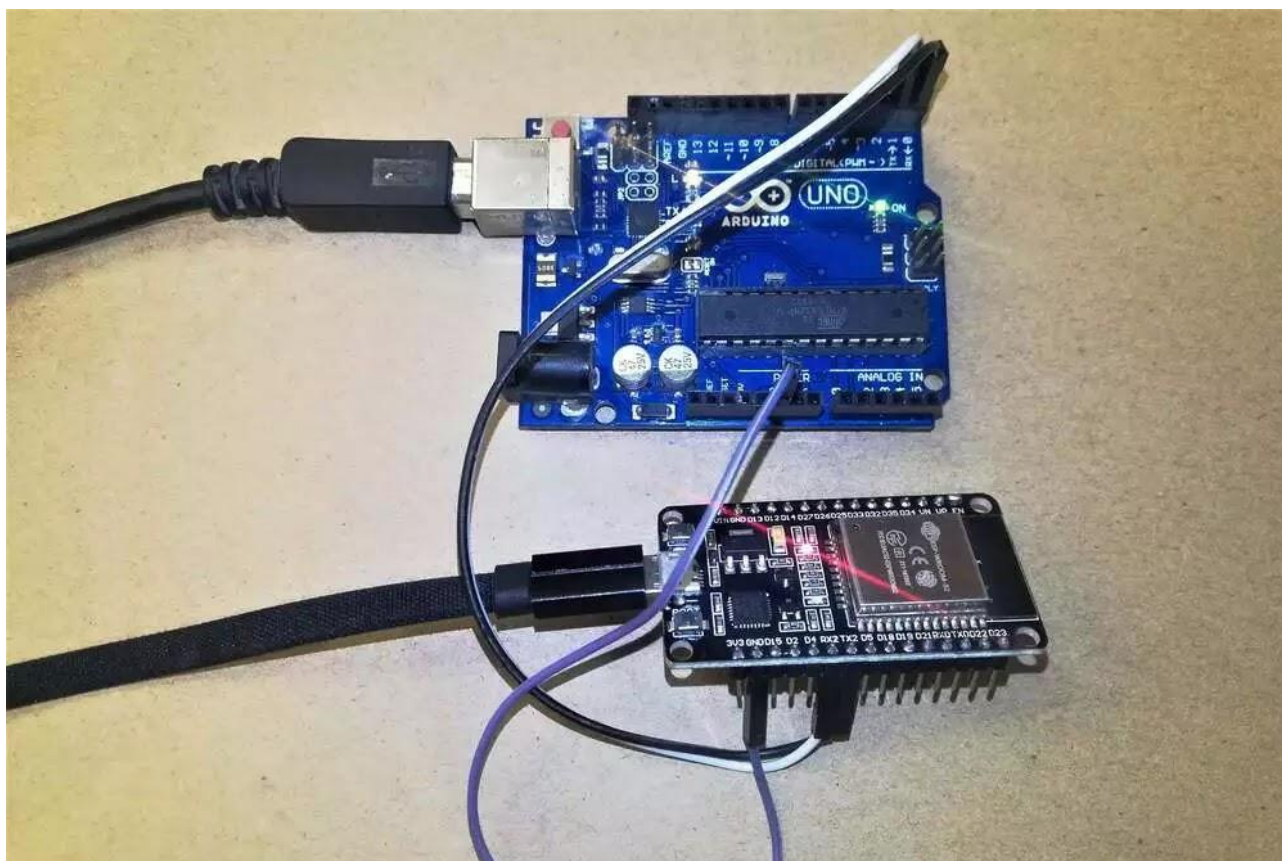


Рис 2. Система моніторингу серверної кімнати на базі Arduino UNO

На Рис. 3 представлений веб інтерфейс, як приклад результатів моніторингу, на якому можна бачити зміну показників в реальному часі з оновленням даних кожні 10 секунд.

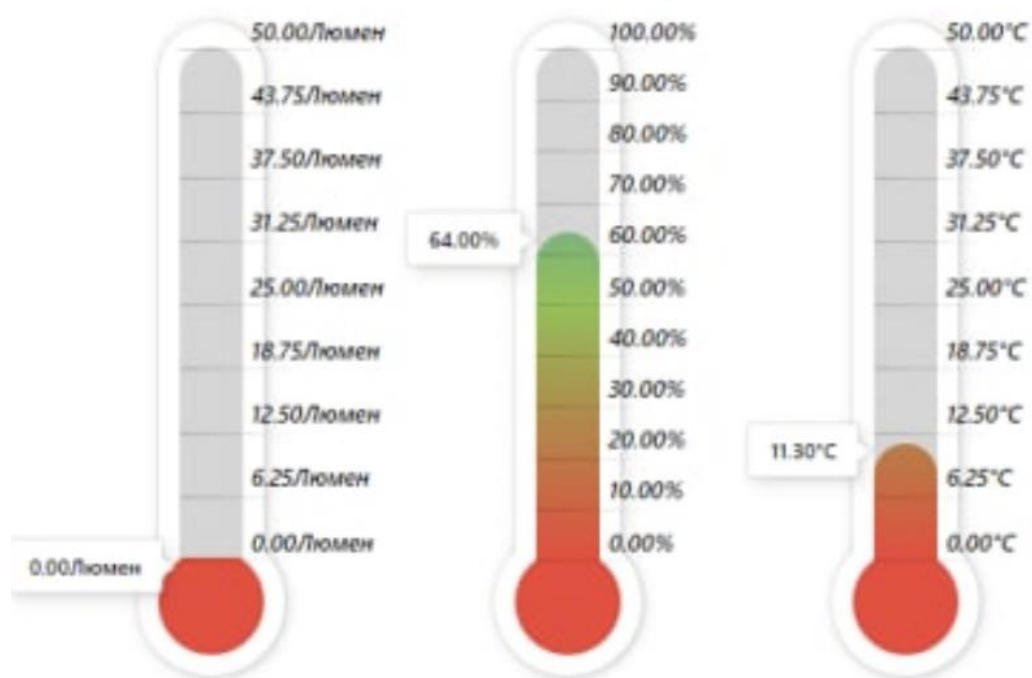


Рис 3. Результати роботи системи моніторингу мікроклімату серверної кімнати

Дана автоматизована система дозволяє раннє виявлення змін у мікрокліматі серверної кімнати в реальному часі. Це забезпечує оперативну реакцію на негативні тенденції та попереджує серйозні проблеми.

Використання подібних систем моніторингу дозволяє охоплювати великі площі, забезпечуючи глобальний огляд стану мікроклімату в серверних кімнатах. Це особливо важливо для ефективного управління умовами експлуатації серверного обладнання у великих дата-центрах чи промислових комплексах.

## **ВИСНОВКИ**

Розроблена автоматизована система контролю мікроклімату серверної кімнати має велике значення для забезпечення оптимальних умов для серверного обладнання. Забезпечуючи надійні та стабільні умови експлуатації, такі системи допомагають уникнути можливих проблем, пов'язаних із змінами мікроклімату, та підтримують високу ефективність серверів у сучасних дата-центрах.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] M. C. A. Pereira, J. F. Alves, and M. F. C. Sousa, "A review of environmental monitoring systems for data centers," *Journal of Cleaner Production*, vol. 186, pp. 790–804, 2018. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.117
- [2] M. N. A. A. Al-Sharif, M. A. Al-Khateeb, and A. A. Al-Rifai, "Design and implementation of an automated environmental monitoring system for data centers," *International Journal of Computer Applications*, vol. 159, no. 10, pp. 1–10, 2017. doi: 10.5120/ijca201793482
- [3] S. P. Singh, S. V. Singh, and S. S. Rathi, "An automated environmental monitoring system for data centers," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 8, no. 7, pp. 1195–1200, 2018. doi: 10.23956/ijarcsse.2018.8.7.1195
- [4] Богдан Г.А., Глущенко М.О., Протасов А. Г Система моніторингу якості повітря на промислових підприємствах. *XXII Міжнародна науково-технічна конференція "Приладобудування: стан і перспективи", 16-17 травня 2023р., м. Київ, Україна : збірник тез доповідей. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С. 283–285.*
- [5] Богдан Г.А., Глущенко М.О. Загальні тенденції побудови автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2023. – Том. 34 (73), №4. – С. 12-17. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/03>

**УДК 620.179.16**

*І.Ю. Солонецький, студент гр. ПК-21мп, доц., к.т.н. Баженов В.Г.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **УЛЬТРАЗВУКОВА АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КРИЛА ЛІТАКА ЗА ДОПОМОГОЮ ІМПЕДАНСНОГО МЕТОДУ**

*Анотація.* В даній статті ми розглянемо використання методу ультразвукового неруйнівного контролю в літакобудівній галузі. Перевагу саме імпедансної перевірки об'єкту контролю - обшивки літака. Аналіз дефектоскопів з таким методом їх переваги та недоліки. Детальний принцип роботи акустичного та механічного імпедансу. Представлення схеми автоматичної системи контролю крила літака з відповідними його перевагами та блок-схемою.

**Ключові слова:** неруйнівний контроль, дефектоскопія, ультразвуковий імпеданс, акустичний імпеданс, крило літака.

### **ВСТУП**

Контроль якості в літакобудівній галузі, відіграє визначальну роль у забезпеченні ефективності та безпеки повітряного транспорту. З виникненням перших літаків у минулому столітті ця галузь стрімко розвивалась, надаючи людству можливість швидкого та надійно пересування по всьому світу. Важливість літакобудівної галузі в наш час важко переоцінити, адже вона забезпечує не тільки ефективний та швидкий транспорт, але й використовується в оборонній справі та наукових дослідженнях.

З урахуванням великої відповідальності, яка покладена на літаки, контроль якості стає невід'ємною частиною літакобудівного процесу. Забезпечення найвищого стандарту якості є критично важливим для гарантування безпеки пасажирів, екіпажу та учасників повітряного руху. Літак, як складна технічна система, потребує постійного моніторингу та оцінки стану його конструкцій та компонентів.

Одним із надважливих компонентів літака слугує крило, а вже його невід'ємною частиною є обшивка. Для контролю цієї частини, використовують різні методи неруйнівного контролю. Найбільш популярним є ультразвуковий метод. Його переваги в перевірці обшивки літака порівняно з іншими підходами, є можливість контролювати як металеві, так пластмасові і композитні матеріали, наприклад на відмінно від вихрострумового методу, де перевірка можлива лише з металевих матеріалів.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Розглянемо вже існуючі ультразвукові імпедансні дефектоскопи, їх переваги та недоліки. Перший, який наразі використовують на підприємстві ДП "Антонов" для перевірки обшивки крила літака є акустичний імпедансний дефектоскоп ІД-91М. В цілому, цей прибор широко використовується в авіації для виявлення дефектів розшарування та непростежування в виробах за шаруватих пластиків, композитних та стільникових матеріалах. Його основною перевагою є простий інтерфейс, відносно невеликі розміри, що дозволяє зручно перевіряти оператору об'єкт контролю в складно доступних місцях, не потребує додаткового налаштування на еталонному зразку, що пришвидшує початок

перевірки та економить час, і спеціальні корундові накінецьники на датчиках, що унеможлиблює пошкодження об'єкту контролю. Пороте, значними недоліками є його вартість та іноді не достатня глибина знаходження дефекту, оскільки іноді, щоб його знайти потрібно проводити контроль з обох сторін об'єкту контролю, що не завжди зручно а іноді і взагалі можливо.[1]

Другий прибор АД-40I, його перевагою є невеликі габарити та автономність від внутрішнього джерела живлення. Із недоліків можна підмітити, що зони з пониженою міцністю, в яких немає газового проміжку зазвичай не виявляються, також, мала проникність в металеві обшивки до 2,5 мм в алюмінієвих сплавів та 1,6 мм - для сталей, що дуже звужує область його використання при перевірці обшивки.[2] Обидва прилади мають велику вагу недостатню чутливість, споживають багато енергії і реалізовані на старій елементній базі, мають дуже складний не автоматизований процес налаштування роботи.

## ПОСТАНОВА ЗАВДАННЯ

Розглянемо трохи детальніше акустичний імпедансний метод. Він спирається на збудженні в об'єкті контролю пружних хвиль та аналізі зміни механічного імпедансу в зонах з дефектом та без нього(в дефекті між прошарками наявне повітря або газ). Повний механічний імпеданс  $Z$  являє собою відношення збуджуючи сили  $F$  до коливальної швидкості  $v$  частинок середовища в точці прикладення сили.

$$Z = \frac{F}{v} \quad (1)$$

Сили являються гармонічними, тобто змінюється по синусоїдальному закону. Величини  $Z$ ,  $F$ ,  $v$  являються комплексними. Механічний імпеданс записується у вигляді:

$$Z = R + jx = |Z|e^{j\varphi} \quad (2)$$

Де  $Z$  - активна складова;  $R$  - реактивна складова;  $e$  - основа натуральних логарифмів;  $j = \sqrt{-1}$ ;  $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{x}{R}\right)$ . Інертному характеру реактивної складової відповідає позитивна величина  $x$ , пружному - від'ємна. Модулем механічного імпедансу називається дійсна величина:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + x^2} \quad (3)$$

Механічний імпеданс складним чином залежить від розміру, щільності, пружних властивостей матеріалів та коефіцієнту згасання пружних коливань в об'єкті. Механічний імпеданс в багатошарових та стільникових конструкціях в точці прикладання збуджуючої сили, визначається всіма елементами цієї конструкції, з'єднаними в одну механічну систему. Коли всі шари конструкції склеєні чи запаєні, вони коливаються як одне ціле і модуль механічного імпедансу  $|Z_1|$  є максимальним. Якщо дефект наявний в об'єкті модуль механічного імпедансу  $|Z_2|$  буде меншими ніж  $|Z_1|$ . Таким чином і можна знайти дефект у виробі, при зміні механічного імпедансу об'єкту.[3-4]

Проаналізувавши, вже існуючі імпедансі дефектоскопи та розібравши імпедансний підхід, було вирішено запропонувати нову схему з урахуванням сучасних можливостей електронно-елементної бази.

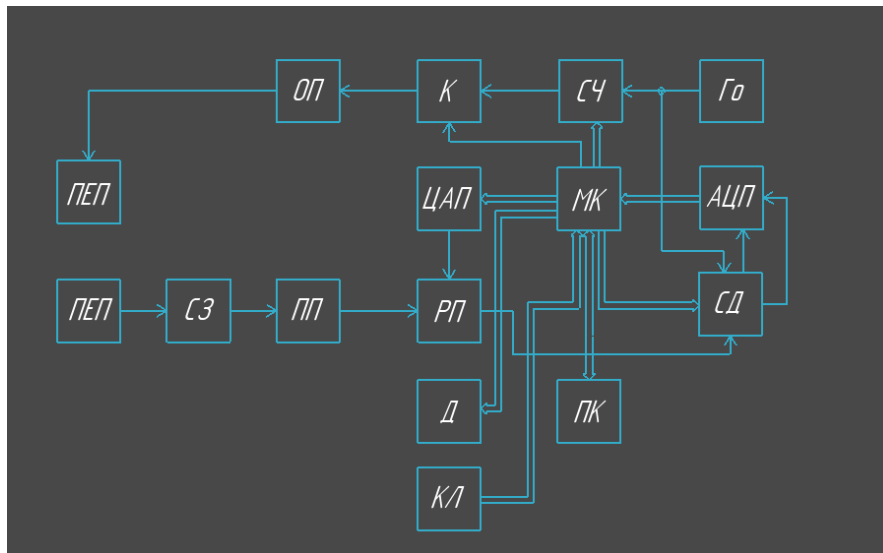


Рис.1. Блок-схема ультразвукової імпедансної системи

де, ОП - операційний підсилювач, К - ключ, СЧ - синтезатор частоти, Го - генератор синхроімпульсів(нульових імпульсів), ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач, МК - мікроконтролер, АЦП - аналогово-цифровий перетворювач, СД - синхронний демодулятор, РП - регульований підсилювач, ПП - попередній підсилювач, СЗ - система захисту, ПЕП - п'єзоелектричний перетворювач, Д - дисплей, ПК - персональний комп'ютер, КЛ - клавіатура.

Тепер докладніше розглянемо цю схему. При використанні нових компонентів, ця імпедансна автоматична система може відносно від попередньо розглянутих дефектоскопів, може підвищити якість вимірювань. Основним із компонентів, який поліпшує систему є синхронний демодулятор (ADA2200) – який має малі габарити і дуже мале електроспоживання, він дозволяє значно збільшити динамічний діапазон вхідних сигналів, які демодулюються і відповідно підвищити точність демодуляції. Має вбудований програмований фільтр, що дає можливість на виході мати, постійну напругу пропорційну як синусній так і косинусній складової отриманого сигналу відгуку по команді мікроконтролера. Вищезазначене, дозволяє реалізувати високоточний ортогональний метод обробки сигналів і визначати, як амплітуду так і фазу вимірювального сигналу без використання складних багатокоштовних, громоздких ДСП процесорів. Використання найсучаснішого МК (STM-32), а також мікросхем синтезаторів частоти керованих МК можна значно зменшити габарити і споживання вже не приладу, а системи, при одночасному збільшенні достовірності і функціональності контролю.

## ВИСНОВОК

Визначивши, що таке ультразвуковий імпедансний метод і чому саме він найбільше підходить для перевірки крила літака на дефекти та проаналізувавши попередні дефектоскопи. Було запропоновано замість старих приладів створити нову багатофункціональну систему для перевіри об'єкту контролю на базі імпедансного методу на найсучаснішій елементній базі з використанням мікроконтролера і других найсучасних електронних компонентів з



використанням цифрових ортогональних методів обробки інформації. Запропонована система контролю при одночасному зменшенні габаритів і ваги дозволить значно збільшити достовірність і функціональність контролю, Зроблять більш зручним процес дефектоскопії та занесення результату до протоколу. І відповідно повністю автоматизувати процес налаштування роботи системи перед початком контролю з перспективою в наступному повної автоматизації цього процесу.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Акустичний імпедансний дефектоскоп ІД-91М для авіації [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://intron-set.com.ua/product/akusticheskij-impedansnyj-defektoskop-id-91m-dlya-aviatsii/>
- [2] Ланге Ю.В. Контроль клеевых и паяных соединений в многослойных конструкциях акустическим импедансным дефектоскопом АД-40И. Методическое руководство. М.: Москва 1976
- [3] Автоматизовані засоби акустичного неруйнівного контролю: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів приладобудівного факультету спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [Електронний ресурс] / Уклад.: Р.М Галаган. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. - 65 с.
- [4] Производственная инструкция ПИ1.2.171-81/ Контроль многослойных конструкция и изделий их слоистых пластиков импедансным методом. 1982р.
- [5] ADA2200 Datasheet(PDF) [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: [https://www.alldatasheet.com/view.jspSearchword=Ada2200&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiAvdCrBhBREiwAX66UvGOfsdJjxz3Y\\_d-5ywrfo04OZzjBpbg3wXZGXALSTjcLsn1to9HcRoCJbIQAuD\\_BwE](https://www.alldatasheet.com/view.jspSearchword=Ada2200&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAvdCrBhBREiwAX66UvGOfsdJjxz3Y_d-5ywrfo04OZzjBpbg3wXZGXALSTjcLsn1to9HcRoCJbIQAuD_BwE)

*Наук. керівник – доц., к.т.н., Баженов В.Г.*

УДК 620.179.14

*О. Л. Чернишов, студент гр. ПК-01*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ЗАСТОСУВАННЯ GMR ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У ВИХРОСТРУМОВОМУ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ**

*Анотація* Розглянуто існуючі методи та засоби виявлення дефектів у металічних виробах вихрострумівими методами неруйнівного контролю. Визначено переваги та недоліки використання GMR перетворювачів для вихрострумової дефектоскопії.

**Ключові слова :** вихрострумівий неруйнівний контроль, перетворювач GMR.

### **ВСТУП**

На сьогоднішній день у виробництві та на транспорті широко використовується вихрострумівий неруйнівний контроль для виявлення дефектів у металах та металоконструкціях. Вихрострумівий контроль – це вид неруйнівного контролю, що ґрунтується на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, які створюються в об'єкті контролю (ОК) зовнішнім полем [1]. Особливість вихрострумівого контролю полягає у тому, що його можна проводити без механічного контакту перетворювача з ОК, що особливо важливо для створення автоматизованих систем неруйнівного контролю.

Зовнішнє електромагнітне поле створюється котушкою збудження, яка живиться змінним електричним струмом, найчастіше синусоїдної форми. Синусоїдний струм, що протікає в котушці збудження, створює електромагнітне поле, яке збуджує вихрові струми в ОК. Щільність цих струмів залежить від електрофізичних властивостей матеріалу ОК, його геометричних розмірів, наявності дефектів, тощо. Створене вихровимим струмами електромагнітне поле, що містить інформацію про ОК, діє на додаткову вимірвальну котушку або на котушку збудження. В першому випадку вихідним сигналом є напруга вимірвальної котушки, у другому – комплексний опір котушки збудження. Реєструючи зміну цих сигналів отримують інформацію про властивості ОК і про взаємне розташування перетворювача і ОК.

Наразі відбувається пошук нових типів перетворювачів для вихрострумової дефектоскопії. Одним з перспективних напрямів таких досліджень є використання перетворювачів GMR (Giant Magnetoresistance – гігантський магніторезистор) в якості сенсорів електромагнітного поля. Інтерес до таких перетворювачів пояснюється їх високою чутливістю до напруженості магнітного поля.

**Мета:** зробити огляд публікацій з питання використання GMR перетворювачів у вихрострумівій дефектоскопії та дослідити їх особливості.

### **ПРИНЦИП РОБОТИ GMR ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

GMR (Giant Magnetoresistive) перетворювачі - це магніторезистивні пристрої, які використовують ефект гігантської магнітної резистивності для перетворення магнітного поля в електричний сигнал. Ефект гігантської магнітної резистивності полягає в тому, що опір шару феромагнітного матеріалу змінюється в залежності від напрямку прикладеного магнітного поля.

GMR перетворювачі використовують ефект гігантського магнітного опору, який спостерігається в тонких металевих плівках. Структура GMR перетворювачів складаються феромагнітних і провідних немагнітних шарів що чередуються [2,3].

Типовий GMR перетворювач складається з наступних шарів [4]:

- Нижній шар – це шар феромагнітного матеріалу з високою магнітною коерцитивністю. Магнітна коерцитивність – це величина магнітного поля, необхідна для розмагнічування матеріалу.
- Проміжний шар – це шар немагнітного матеріалу. Немагнітний матеріал не має власного магнітного поля.
- Верхній шар – це шар феромагнітного матеріалу з низькою магнітною коерцитивністю.

Коли магнітне поле прикладено до такої структури, спінові стани електронів у феромагнітних шарах вирівнюються, що призводить до зменшення електричного опору. Це змінює струм, що протікає через структуру, і цю зміну можна виміряти.

GMR перетворювачі мають ряд переваг порівняно з іншими типами перетворювачів, що використовуються в електромагнітному неруйнівному контролі, зокрема:

- мають високу чутливість до дефектів;
- мають високу точність, можуть точно визначити розмір і координати дефектів;
- є відносно недорогими сенсорами.

Типові характеристики GMR перетворювачі наведено в табл.1 [5].

Табл. 1. Характеристики GMR перетворювачів, що випускаються серійно

Характеристика	Тип GMR перетворювачі		
	AA002-02	AA1002-02	AAH002-02
Опір R, Ом	5000	5500	2000
Робоча температура, °C	125	150	150
Максимальний гістерезис, %	4	2	15
Чутливість, мВ/В-Е	3 – 4,2	3 – 4,2	11 – 18

## ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯ GMR ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИХРОСТРУМОВОЇ ДЕФЕКТОМКОПІЇ

У роботі [6] авторами було проведено дослідження використання GMR перетворювачів у вихрострумівому дефектоскопі. Автори дійшли висновку, що для використання GMR перетворювачів потрібно застосовувати у схемі підсилювач сигналів INA125 для підвищення чутливості датчиків і перетворення сигналів до більш прийнятної для подальшого аналізу виду. Авторами було успішно створено робочий дефектоскоп, який міг визначати розміри дефектів з високою точністю.

У роботі [7] автори представили виготовлений вихрострумівий дефектоскоп на основі GMR перетворювача і комп'ютерної миші з роликком, яка застосовувалась для визначення координат положення датчика на ОК. Завдяки

автоматизованим пристосуванням позиціонування, авторам вдалось відобразити результати вимірювань у вигляді ЕС-карти за різних швидкостях сканування. Автори визначили, що швидкість сканування не сильно впливає на результати вимірювання вихрострумowego дефектоскопу на основі GMR.

### **ВИСНОВОК**

Наведені в роботі та інші публікації вказують на зростання інтересу до тематики, пов'язаної з використанням GMR перетворювачів в засобах автоматизованого вихрострумowego неруйнівного контролю. Взаємодія дефектоскопу на основі GMR перетворювача відбувається на відстанях, достатніх для вільного руху перетворювача відносно об'єкта. Тому в такий спосіб можна отримувати прийнятні результати контролю навіть за високих швидкостей руху ОК відносно сенсора. Даний метод дає змогу виявляти як поверхневі, так і підповерхневі (на глибині до 1...4 мм) дефектів малих розмірів.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

- [1] Білокур І. П. «Основи дефектоскопії». – К.: Азимут-Україна, 2004. – 496 с. —
- [2] Colossal Magnetoresistance, Charge Ordering and Related Properties of Manganese Oxides / Ed. by C. N. R. Rao and B. Raveau. – World Scientific Publishing Co, 1998. – P. 2. – 356 p.
- [3][3] Hirota, E., Sakakima, H., Inomata, K. Giant Magneto-Resistance Devices. – Springer, 2002. – P. 30. – 177 p. – ISBN 978-3-540-41819-1.
- [4] <https://www2.nve.com/gmrsensors/gmr-operation.htm/>
- [5] <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/608149/ETC2/AAL002-02/202/2/AAL002-02.html/>
- [6] «Design and Analysis of a GMR Eddy Current probe for NDT» – R. W. Porto, V. J. Brusamarello, R. Azambuja Electrical Engineering Department Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, RS, Brazil.
- [7] «GMR-Based ECT Instrument for Detection and Characterization of Crack on a Planar Specimen: A Hand-Held Solution» – Giovanni Betta, Senior Member, IEEE, Luigi Ferrigno, and Marco Laracca, Member, IEEE.

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Куц Ю.В.*

УДК 004.93:629.7

В.С. Якотюк, студент гр. ПК-01, доктор філософії Момот А.С.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ПОШУКУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

**Анотація.** Розглянуто актуальність проблеми масштабного замінування території України. На основі проаналізованих публікацій в даній області визначено перспективність застосування БПЛА для підвищення ефективності та автоматизації процесу пошуку вибухонебезпечних предметів. Проаналізовано методи пошуку вибухонебезпечних предметів, такі як: візуальний пошук, тепловізійний пошук, за допомогою георадару і за допомогою магнітометра. Визначено переваги та недоліки даних методів.

**Ключові слова:** розмінування, БПЛА, візуальний пошук, тепловізори, георадари, магнітометри.

### ВСТУП

З початком війни та прямої агресії Російської Федерації, значна частина території України стала забрудненою мінами та боєприпасами. Всього з початку конфлікту потенційно заміновано є близько 30% території України – це близько 174 тисяч квадратних кілометрів. Станом на 14 жовтня 2023 року від початку повномасштабного вторгнення сили підтримки змогли очистити від вибухонебезпечних предметів 110 квадратних кілометрів деокупованих територій. На цих територіях було зібрано й знищено 132 262 вибухонебезпечних предметів. Тобто на один квадратний кілометр припадає 1 202 таких предмети [1].

Отже, необхідність вирішення цієї проблеми підштовхує нас до пошуку нових методів виявлення вибухонебезпечних предметів (ВНП), спрямованих на підвищення ефективності та швидкості розмінування територій. Ці методи мають на меті забезпечити посилену безпеку населення, швидкість реагування в аварійних ситуаціях, підвищену ефективність процесу розмінування, сприяють міжнародному співтовариству, а також відкривають можливості для інновацій та технологічного прогресу. Проблема розмінування значних територій є одним із найбільш актуальних викликів на найближчі роки.

### ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Автори статі [2] визначили три основні етапи технологій гуманітарного розмінування: етап виявлення, етап обстеження та етап гуманітарного розмінування. Найбільш важливим і найбільш відповідальним етапом є виявлення, бо через неякісне виявлення можуть бути пропущені деякі вибухонебезпечні предмети, які будуть представляти загрозу.

Автори роботи [3] розглянули глобальну проблему розмінування з фокусом на Україні. Проаналізовано наслідки та проблеми мінних війн для світової спільноти та самої України. Розглянуто досвід розробки засобів виявлення мін в інших країнах світу. Аналіз у статті вказує на глобальний характер проблеми розмінування та необхідність впровадження інноваційних підходів для її вирішення. Також вказано на моральне застаріння засобів виявлення ВНП, які залишилися в оснащенні ще з часів СРСР, без належної ремонтної бази, та на відсутність сучасних вітчизняних комплексів і засобів виявлення ВНП. Зазначається необхідність у розробці нових методів пошуку ВНП.

У статті [4] розглядається досвід іноземних країн у використанні безпілотної авіації для розвідки мінної обстановки. Висвітлені новаторські підходи до використання безпілотної авіації для розв'язання завдань розмінування. Одним із напрямів є використання міношукачів як корисного навантаження на безпілотники. Інший підхід базується на використанні багатоспектральної апаратури на безпілотниках для розвідки мінної обстановки та виявлення мін. Третій підхід включає використання інфрачервоної апаратури на безпілотниках, яка реагує на температурні різниці між міною та поверхнею місцевості. Також визначені напрями подальших досліджень, включаючи розробку мінних сигнатур, методів декомпозиції мінної обстановки, і встановлення технічних вимог для створення мобільних роботизованих комплексів на базі БПЛА для проведення розвідки мінної обстановки, виявлення мін і їх дистанційного ураження.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

На основі проведеного огляду існуючих робіт можна зробити висновок, що одним із найбільш перспективних шляхів вирішення проблеми покращення ефективності виявлення ВВП є використання БпЛА. На сьогоднішній день існує декілька найбільш поширених методів пошуку ВВП за допомогою БпЛА. Кожен із них має власні переваги та обмеження, але всі вони дозволяють значно підвищити швидкість та загальну ефективність виявлення ВВП.

**Метод візуального пошуку** базується на візуальному огляді території з метою виявлення мін або інших вибухонебезпечних об'єктів. Цей метод включає в себе використання окулярів, спостереження за земельною поверхнею або в повітрі для виявлення будь-яких підозрілих об'єктів. Метод візуального пошуку є одним із елементів комплексної системи розмінування, і він може поєднуватися з іншими методами, такими як використання технічних засобів чи обробка інформації з супутників, для підвищення точності та ефективності процесу. Однак, даний метод має ряд обмежень, таких як неможливість знаходити закопаних або накритих предметів. Пошуки будуть найефективнішими у світлу пору доби, коли територію видно без зайвих тіней.

**Метод тепловізійного пошуку** заснований на використанні тепловізійних технологій для виявлення об'єктів, які мають відмінні температурні характеристики в порівнянні з навколишнім середовищем. Такий метод стає особливо корисним у виявленні ВВП які можуть нагріватися або мати характеристики тепловипромінювання відмінні від навколишнього середовища. Тепловізійні камери спроможні реєструвати і візуалізувати ці температурні різниці. Для підвищення швидкодії, аналіз термограм можна автоматизувати [5].

Використання тепловізійного пошуку дозволяє покращити спроможність виявлення ВВП, особливо в умовах, коли їх важко або неможливо виявити за допомогою звичайного візуального огляду. Однак, даний метод має ряд обмежень, таких як неможливість знаходити ВВП всередині ґрунту або в місцях, де температура предметів змінюється незначно. Пошуки будуть найефективнішими зранку або ввечері.

**Метод пошуку за допомогою георадару** передбачає використання

георадіолокаційної техніки для виявлення об'єктів, зокрема мін, під поверхнею ґрунту. Основний принцип полягає в тому, що георадар випромінює електромагнітні сигнали, які проникають у ґрунт чи інший матеріал і відбиваються від об'єктів, що знаходяться під поверхнею. Система георадару приймає ці відбиті сигнали і аналізує їх для визначення характеристик об'єктів, таких як їх глибина, розмір і форма. Дані можуть бути візуалізовані у вигляді профілю глибини, місця розташування та характеристик об'єктів.

Використання георадарів дозволяє здійснювати ефективний пошук підземних ВНП без необхідності руйнування поверхні землі чи інших покриттів. Однак, даний метод має ряд обмежень. Наприклад, у різних прошарках ґрунту хвилі георадару поводять себе по-різному, що створює певні завади.

**Метод пошуку за допомогою магнітометра** базується на вимірюванні магнітного поля навколо об'єктів, які можуть містити феромагнітні матеріали, такі як металеві міни. Основна ідея полягає в тому, що феромагнітні об'єкти впливають на оточуюче магнітне поле, і ці зміни можна виявити за допомогою магнітометричних вимірювань. Магнітометр вимірює і реєструє магнітне поле в деякій області. На основі аналізу магнітних аномалій можуть бути визначені зони, де можливо розташовані міни чи інші металеві об'єкти.

Цей метод може бути корисним для виявлення металевих ВНП, оскільки вони зазвичай містять феромагнітні матеріали, які взаємодіють із магнітним полем. Однак важливо враховувати, що не всі ВНП мають металеві складові, наприклад, деякі сучасні міни можуть бути виготовлені із неметалевих матеріалів для уникнення виявлення металевими детекторами. Окрім того, електромагнітні впливи від електричних пристроїв або магнітні поля від природних джерел (наприклад геологічних утворень) можуть створювати завади.

Переваги та недоліки розглянутих методів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Переваги та недоліки методів пошуку ВНП із використанням БпЛА

<i>Метод</i>	<i>Переваги</i>	<i>Недоліки</i>
Візуальний пошук	Охоплення великої площі.	Потребує наявності високоякісної камери. Можна визначати ВНП тільки на поверхні, які нічим не накриті. Фото має бути зроблене в день при гарній погоді
Тепловізійний пошук	Охоплення великої площі. Виявлення неконтрастних у видимому діапазоні ВНП.	Можна проводити пошук тільки на відкритій місцевості. Можна проводити пошук тільки ввечері або зранку, у час коли сильно змінюється температура.
Георадар	Можна виявляти неметалеві ВНП.	Пошук проводиться безпосередньо неподалік БпЛА. Тип ґрунту впливає на глибину пошуку. Складний і високовартісний у реалізації.
Магнітометр	Легкий пошук феромагнітних ВНП на невеликій глибині. Можна проводити пошук на різній місцевості. Простий і недорогий у реалізації.	БпЛА має летіти на невеликій висоті. Неможливо виявляти неметалеві ВНП. Пошук проводиться безпосередньо неподалік БпЛА.

## ВИСНОВКИ

В ході аналізу методів пошуку ВНП було визначено ефективність їх застосування у різних умовах. Найбільш ефективним за сукупністю переваг та недоліків є метод пошуку за допомогою георадару, який виявляє навіть пластикові міни, але цей метод складний та дорогий у реалізації. Другим по ефективності методом є пошук за допомогою магнітометра, який має відносно невелику вартість реалізації, але датчик має знаходитись як можна ближче до поверхні землі. Методи візуального і тепловізійного пошуку можуть допомогти виявляти ВНП тільки на поверхні, і то за певних умов. З використанням БПЛА зростає швидкість обстеження великих площ. Також це зменшує ризик для людей, які проводять пошук.

Для найбільш ефективного пошуку ВНП перспективною виглядає розробка мобільних георадарів, які будуть мати невеликі габарити. Це дозволить знизити вимоги до самого БПЛА, підвищуючи його автономність та потенційний час знаходження у повітрі, що дозволить збільшити темп обстеження великих територій. Іншим напрямом для подальших досліджень є використання сучасних методів аналізу даних та штучного інтелекту для автоматизації розпізнавання ВНП за даними георадарів або інших датчиків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Інформація щодо діяльності піротехнічних підрозділів ДСНС / Режим доступу : <https://mvs.gov.ua/uk/news/operativna-informaciia-shhodo-roboti-pirotexnicnix-pidrozdiliv-dsns-ukrayini-6> . 02.06.2023 р.
- [2] Халеп, В. В. Гуманітарне розмінування на території України як елемент національної безпеки держави / В. В. Халеп, М. Г. Саморок. // *II Всеукраїнська науково-практична конференція кафедри тактико-спеціальної підготовки командно-штабного факультету Національної академії Національної гвардії України*. – 2020.– с. 32-33
- [3] Горбулін, В. П. Світова глобальна проблема розмінування: український вектор / В. П. Горбулін // *Вісник Національної академії наук України*. – 2022 – № 2 (2022) – с. 3-13
- [4] Мосов, С. П. Напрями застосування безпілотної авіації для виконання завдань розмінування: світовий досвід / С. П. Мосов, В. Нероба // *Збірник наукових праць національної академії державної прикордонної служби України серія: військові та технічні науки* – 2019 – №1(79) – с.172-185
- [5] Skladchikov I.O. Application of YOLOX deep learning model for automated object detection on thermograms / I. O. Skladchikov, A. S. Momot, R. M. Galagan, Bohdan G.A., Trotsiuk K.M. // *Information Extraction and Process*. – 2022. – №50. – pp. 69–77.

*Наук. керівник – доктор філософії, ст. викл. Момот А.С.*



## **Секція 7.**

# **Економічна ефективність використання систем біомедичного приладобудування та технологій**

УДК 615.814.1

*Б.О. Баталія, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АНАЛІЗ ТЕПЛООВОГО ГРАДІЄНТУ ВЗАЄМОДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОЛОГІЧНОЮ ТКАНИНОЮ**

**Анотація.** Лазерне випромінювання, що взаємодіє з біологічною тканиною, створює тепловий градієнт(ТГ), в зоні опромінення. Аналіз параметрів такого ТГ є ключовим інструментом в медичних лазерних дослідженнях [1]. Таке дослідження впливу лазерного випромінювання на біологічні тканини та його результати важливі для підвищення ефективності та розвитку методів лазерної терапії і хірургії. Ця стаття присвячена аналізу параметрів теплового градієнту, що виникає при взаємодії лазерного випромінювання з біологічною тканиною. У світлі зростаючого інтересу до застосування лазерного випромінювання в медицині, актуальність дослідження визначається потребою у більш глибокому розумінні впливу лазерного випромінювання на біологічні структури з огляду на безпеку та автоматизацію фізіотерапевтичної процедури. Отримані результати відкривають перспективи для подальших досліджень та можуть служити підґрунтям для розробки нових, ефективних методів лазерного впливу на біологічні тканини.

**Ключові слова :** лазерне випромінювання, тепловий градієнт, біологічна тканина, теплові властивості.

### **ВСТУП**

Лазерне випромінювання відзначається унікальними фізичними властивостями, що робить його ефективним інструментом для різноманітних досліджень та застосувань в медичній практиці. Зокрема, вплив лазерного випромінювання на біологічні тканини має великий потенціал у лікуванні різних захворювань. Однак, разом із зростанням зацікавленості у цьому напрямку, виникає необхідність глибокого розуміння фізико-біологічних особливостей теплового впливу лазерного випромінювання на біологічні тканини [2].

Дана робота присвячена аналізу теплового градієнту на площинно-просторовому розрізі, який виникає при впливі лазерного випромінювання на біологічні тканини. Параметри теплового градієнту є ключовим фактором у визначенні впливу лазерного випромінювання на тканини, і його ретельне дослідження може допомогти в розробці більш ефективних та безпечних методів лазерної терапії.

Актуальність даного дослідження визначається поєднанням розширених можливостей лазерної технології в медицині та потреби, у розумінні, її впливу на біологічні структури з точки зору безпеки та ефективності дії. Отримані результати можуть слугувати основою для подальших досліджень та розробки нових методів лазерної обробки біологічних тканин [3].

### **ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ**

При проведенні експерименту з дослідження просторово-площинних змін температур в зоні дії лазерного випромінювання в якості біологічної тканини був взятий зразок кубічної форми з свинини. Аналіз теплового розповсюдження розглядався в розрізі куба свинної тканини із різними шарами. В даному експерименті використовувався куб зразка з ребром 3 см, що дозволило врахувати різні властивості тканин на різних глибинах. Це є важливим аспектом при аналізі лазерного впливу, оскільки тканини можуть мати різні оптичні та теплові властивості в залежності від їхнього розташування в організмі [4]. Дослідження проводилися на технічній базі компанії Фотоніка-плюс.

У рамках експерименту використовувався лазерний апарат Lika-surgeon,

працював він на 2 різних довжинах хвиль: 940 нм та 1060 нм. Потужність лазера становила 3 Вт, а пляма лазера мала розмір 17 мм. Важливим аспектом є використання саме свинної тканини як біомоделі, оскільки свинячі тканини часто використовуються в дослідженнях через їхню часткову схожість з властивостями людських тканин. Для виміру температури шарів використовувався тепловізор uni-t uti165K.

На рис.1 представлена експериментальна установка яка використовувалася для даних досліджень.



Рисунок.1 Експериментальна установка 1- тепловізор uni-t uti165K, 2- затискач, 3- лазер хірургічний діодний Lika-surgeon, 4- лазерний Ватметр.

На рисунку 2 представлена біологічна модель: свинна тканина із різними шарами.

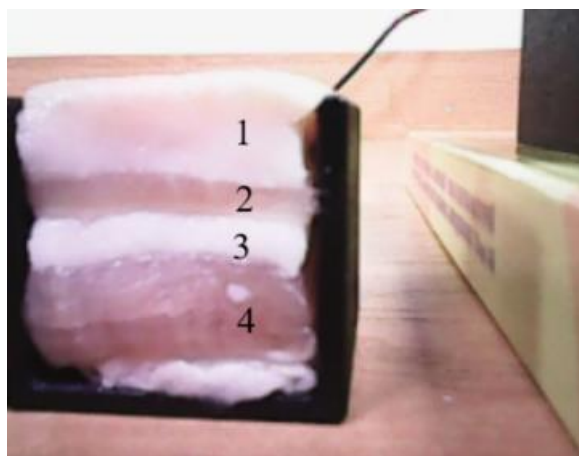


Рисунок.2 Тканини свині із шарами 1- епідерміс, 2- дерміс, 3- підшкірна жирова тканина, 4- м'язова тканина.

Отримані дані були піддані статистичному аналізу, включаючи обробку та нормалізацію [5]. Нормалізація дозволяє врахувати можливі варіації у вихідних параметрах та призначена для створення умов для порівняння результатів. Цей етап дозволяє врахувати потенційні внутрішні фактори, такі як різниця в оптичних властивостях тканин чи вихідні параметри лазерного променя.

## ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Після нормалізації дані були використані для побудови графіків, які відображають тепловий розподіл в зразках тканини свині під впливом лазерного випромінювання для довжин хвиль 940 нм та 1060 нм. Графіки відображають зміни температур в залежності від глибини проникнення та типу тканини [6].

Графіки (рисунок 3 та 4) становлять ключовий елемент аналізу теплового впливу лазера на біологічні тканини та надають важливі візуальні дані для розуміння результатів експерименту.

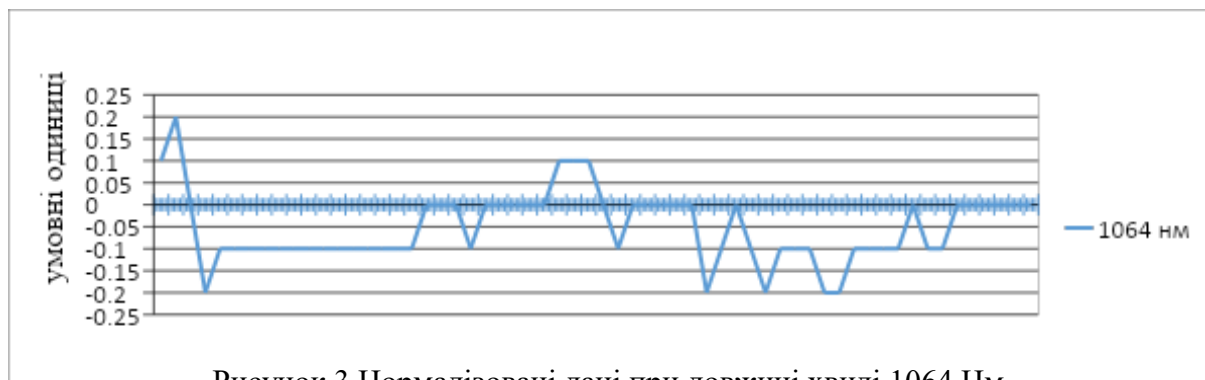


Рисунок.3 Нормалізовані дані при довжині хвилі 1064 Нм



Рисунок.4 Нормалізовані дані при довжині хвилі 940 Нм

Перший графік (рисунок 3) представляє тепловий градієнт під впливом лазерного випромінювання з довжиною хвилі 1060 нм. Ця довжина хвилі характеризується меншим поглинанням в тканинах ніж 940нм, але в той же час забезпечує більший поверхневий тепловий вплив. Такий ефект може бути важливим для лазерної хірургії або поверхневих медичних процедур.

На другому графіку (рисунок 4) представлено тепловий градієнт використанні лазерного випромінювання з довжиною хвилі 940 нм. Ця довжина хвилі часто використовується у лазерній терапії для глибокого проникнення в тканини. З аналізу графіка видно, що тепловий вплив протягом різних глибин тканини різноманітний. Високий рівень поглиблення лазерного випромінювання зумовлює значний розкид теплового градієнту, що може бути використано для направленої терапії в глибоких шарах тканин[7].

## ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження теплового впливу лазерного випромінювання на біологічну тканину, використовуючи куб свинної тканини з

різними шарами та лазерний апарат Lika-surgeon з двома хвильовими довжинами (940 нм та 1060 нм), були отримані важливі дані та результати.

Аналіз отриманих графіків чітко показав, що лазерне випромінювання різної довжини хвилі дає різні теплові ефекти на біологічній тканині. Використання лазера з довжиною хвилі 940 нм призводить до глибокого проникнення та різноманітного більш розширеного теплового градієнту на глибині тканин, тоді як лазер з довжиною хвилі 1060 нм має менше глибинне проникнення, але забезпечує більший поверхневий тепловий вплив.

Результати цього дослідження відкривають перспективи для подальшого використання впливу лазерного опромінювання на біологічні тканини. Можливості розширення параметрів лазерної терапії та розробки нових методів контролю та автоматизації за тепловим впливом, що може покращити якість та безпеку лазерних медичних процедур.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, О. Г. Ляшенко, О. С. Гнатейко, “Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси в біологічних тканинах”, Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування, №49, 2015, с. 153–158.
- [2] Musstaf R. A., Jenkins D. F. L., Jha A. N. Assessing the impact of low level laser therapy (LLLT) on biological systems: a review. International Journal of Radiation Biology. 2019. Т. 95, № 2. С. 120–143. doi.org/10.1080/09553002.2019.1524944
- [3] Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, А. М. Матвієнко, “Вплив процесів конвекції в рідині на похибку вимірювання теплопровідності методом прямого підігріву термістора”, Наукові вісті НТУУ «КПІ», № 4, с. 121–130, 2017.
- [4] Микола ТЕРЕЩЕНКО, Богдан БАТАЛІЯ Методика підготовки біологічного зразка для оптичного дослідження // Збірник «Сучасні технології біомедичної інженерії : матеріали II міжнародної науково-технічної конференції 17-19 травня 2023 р. / за заг. ред. І. В. Прокоповича, Н. В. Манічевої ; Нац. ун-т «Одеська політехніка». - Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2023. ISBN 978-617-7417-11-7, С. 113-115  
[https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1eeQQzmk97uWXm\\_3Cq4ZtM5YLu7UZUmWj](https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1eeQQzmk97uWXm_3Cq4ZtM5YLu7UZUmWj)
- [5] Data Normalization. Data Modeling Fundamentals. Hoboken, NJ, USA. С. 271–293. doi.org/10.1002/9780470141021.ch8.
- [6] S. P. A. Parker, “Laser–Tissue Interaction”, у Lasers in Dentistry—Current Concepts. Cham: Springer Int. Publishing, 2017, с. 29–55. Дата звернення: 21 жовт. 2023. doi.org/10.1007/978-3-319-51944-9\_3
- [7] С.М. Павлов, Вальдемар Вуйцік, О.С. Комарова і др., «Особливості проектування теплових сенсорів потоку біомедичного призначення», Опт.-ел. інф.-енерг. техн., вип. 44, вип. 2, с. 66–81, Січ 2023. DOI <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2022-44-2-66-81>

*Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.*

УДК 615.84: 615.032

*М.В. Борута, студентка гр. БС-з21мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

## МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО ЛІКУВАННЯ ВІРУСНОГО ГЕПАТИТУ С

**Анотація.** В роботі проаналізовано особливості розробки та моделювання алгоритмів оптимального управління лікуванням вірусного гепатиту С, що можуть бути використані для підвищення ефективності лікування. Представлено аналіз та вдосконалення лікувальних стратегій, в тому числі аналіз різних методів лікування та пошуку оптимальних рішень для конкретних випадків. Це сприятиме постійному вдосконаленню стратегій та забезпеченню найкращого лікування для пацієнтів з вірусним гепатитом С. Розроблено алгоритм оптимального управління лікуванням вірусного гепатиту С. Це дозволить досягнути максимальної ефективності в лікуванні та зменшити ризик побічних ефектів та забезпечити доступність індивідуалізації лікування та зменшення витрат та також дозволить лікарям і дослідникам краще розуміти, як вибирати оптимальні схеми лікування для конкретних пацієнтів.

**Ключові слова:** Вірусний гепатит С, математичні моделі в медицині, монотерапія, управління лікуванням HCV.

### ВСТУП

Моделювання алгоритмів оптимального управління лікуванням ВГС стає важливим інструментом для поліпшення результатів лікування та забезпечення ефективного використання ресурсів охорони здоров'я. Ці алгоритми допомагають визначити оптимальні протоколи лікування, враховуючи індивідуальні характеристики пацієнтів, прогнозувати вірогідність стійкої відповіді та визначати найбільш ефективні стратегії лікування для кожного пацієнта. Вірусний гепатит С є серйозним глобальним проблемою здоров'я, і розробка ефективних алгоритмів лікування має велике значення для поліпшення результатів та прогнозу хвороби[2]. Застосування математичного моделювання та аналізу даних може допомогти визначити оптимальні стратегії лікування, враховуючи індивідуальні характеристики пацієнта та епідеміологічні чинники. Актуальність теми визначається потребою в удосконаленні терапії ВГС і поліпшення якості життя пацієнтів, що стикаються з цим захворюванням. Подальше вдосконалення та застосування розроблених алгоритмів може значно покращити результати лікування, знизити ризик прогресування захворювання та покращити якість життя пацієнтів, страждаючих від вірусного гепатиту С.

### МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ ТА КЕРУВАННЯ ЛІКУВАННЯМ ВІРУСНОГО ГЕПАТИТУ С.

Вірусний гепатит С - це інфекційне захворювання, яким інфіковано за оцінками приблизно 170 мільйонів людей по всьому світу.

Математичне моделювання та кількісний аналіз інфекції гепатиту С широко досліджувалися протягом останнього десятиріччя. Більшість моделей обмежувалися короткостроковою динамікою. Одна з перших моделей була та, де досліджувалася динаміка HCV при наявності лікування інтерфероном-альфа (ІФН- $\alpha$ ). У ній було показано, що ІФН- $\alpha$  головним чином блокує виробництво віріонів з інфікованих гепатоцитів. Проте ІФН- $\alpha$  мало впливає на управління інфекцією гепатоцитів. Дану модель покращили, включивши ефекти рибавіріну, який діє, роблячи частину віріонів неінфекційними. Їх дослідження також

показали, що, хоча ІФН відіграє ключову роль у першій фазі зниження вірусного навантаження, рибавірин має обмежений вплив. Проте в разі низької ефективності ІФН рибавірин вносить значний внесок у другу фазу зниження. У наступній та вдосконаленій моделі враховували гомеостатичні механізми печінки шляхом включення функції росту. Ця модель успішно пояснює трифазний спад і терапевтичні невдачі.

Теорія керування знаходить широке використання в біологічних та екологічних задачах. У біомедичних дослідках теорія управління є надзвичайно корисною для розробки оптимальних терапевтичних стратегій. Зазвичай схема лікування розглядається як керуюча змінна з метою мінімізації негативних наслідків захворювання. Наприклад, в рамках моделювання раку дослідники вивчають математичні моделі взаємодії пухлин та імунної системи та розробляють оптимальні хіміотерапевтичні стратегії для мінімізації об'єму пухлини та небажаних терапевтичних побічних ефектів, як для лінійного, так і для квадратичного управління.

### **АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ РИЗИКУ НА РОЗВИТОК ГЕПАТИТУ С ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ЛІКУВАННЯ. РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ АЛГОРИТМІВ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЧИСЛОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.**

Моделі, розглянуті в дослідженні, відтворюють ключові аспекти циклу реплікації вірусної РНК гепатиту С (vRNA HCV). Цей цикл включає такі етапи: vRNA дифундує від місця її вивільнення з вірусної частинки і прикріплюється до рибосом. На рибосомах відбувається виробництво неструктурних білків (NSP), які дифундують та формують мембранну структуру на поверхнях ендоплазматичного ретикулуму (ER). Наступною стадією є реплікація vRNA всередині цієї мембранної структури. Потім нова vRNA дифундує до рибосом, де цей цикл розпочинається знову. Використовуємо реконструйовану геометрію ER та відтворені мембранні області на основі експериментальних даних імунофарбованих клітин тканинної культури, отриманих з гепатоцитів[3]. Поверхнева структура ER і області росту мембранних тканин відображають їх розташування відповідно до зазначених експериментальних даних. На рисунку 1 представлено цикл реплікації вірусу гепатиту С.

Математичний опис руху вірусної РНК (vRNA), трансляції та розщеплення вірусних поліпротеїнів, руху неструктурних білків (NSP), а також накопичення та зв'язування їх в мембранних областях, копіювання vRNA та пересування новоутвореної вірусної РНК до областей рибосом для виробництва нових NSP, описуються за допомогою концентрацій.

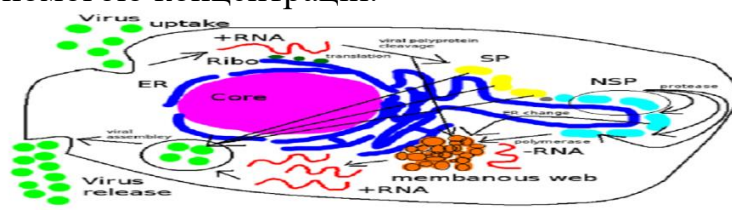


Рисунок 1. Узагальнений цикл реплікації вірусу гепатиту С

Попередні математичні та біофізичні моделі, які описують динаміку реплікації гепатиту С на рівні внутрішньоклітинних процесів, зазвичай фокусувались на моделях кінетичних компартментів. Останнім часом математичний опис динаміки біофізичних процесів став більш точним. У випадку динаміки вірусів, моделі кінетичних компартментів на основі звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР) представляють сучасний рівень техніки.

Вважається, що «веб-білки» є NSP, що походять від розщепленого поліпротеїну і накопичуються в областях . Области визначаються геометрично за допомогою субобластей, які виникають у результаті реконструкцій пофарбованих клітинних даних. Накопичення "павутинних білків" (всередині геометрично визначених ділянок ) утворюють всю функціональну .

Отже, просторово-часова оцінка  $R$ ,  $P$ ,  $W$  і  $H$  моделюється нелінійною зв'язаною поверхнею PDE (sPDE) разом з відповідними початковими та межовими умовами:

$$\begin{aligned}\frac{\partial R}{\partial t} &= \operatorname{div}_T(D_R \nabla_T R) + r_1 W H R, \\ \frac{\partial P}{\partial t} &= \operatorname{div}_T(D_P \nabla_T P) + r_2 R - r_3 P, \\ \frac{\partial W}{\partial t} &= \operatorname{div}_T(D_W \nabla_T W) + r_3 P, \\ \frac{\partial H}{\partial t} &= \operatorname{div}_T(D_H \nabla_T H) - r_4 W H R,\end{aligned}$$

де  $D_R, D_P, D_W, D_H$  – кусково-сталі коефіцієнти дифузії вищезазначених величин та швидкості реакції.

$r_i(x) > 0, x \in W(R), i = \overline{1,4}$ . кусково-сталі коефіцієнти дифузії вищезазначених величин та швидкості реакції .

Біологічний зміст реакційних констант полягає в наступному:

- -- швидкість полімеризації нової vRNA у термінах багатолінійних концентрацій vРНК, веб-білка та фактору господаря;
- -- швидкість трансляції поліпротеїну у термінах лінійної концентрації vRNA;
- -- швидкість розщеплення поліпротеїну на павутинний (акумуляуючий) білок;
- -- швидкість виснаження фактору господаря під час полімеризації vРНК у термінах багатолінійні концентрації vRNA, веб-білка та фактору господаря.

vRNA полімеризація і виснаження фактору господаря пропорційні з єдиною різницею у відношенні від до , щоб забезпечити різну кількість виснаження фактору господаря порівняно з полімеризацією vRNA, тоді як vRNA копіюється.

Реплікація вірусу залежить від можливості порушити метаболізм хазяїна (фактично, реплікація не може відбутися, якщо відсутній фактор господаря), введення фактора господаря необхідно для того, щоб модель була реалістичною.

## ВИСНОВКИ

Розробка оптимальних стратегій лікування є важливою для контролю поширення інфекції та покращення якості життя пацієнтів. Математичні моделі



дозволяють аналізувати динаміку розповсюдження вірусу гепатиту С та визначати оптимальні стратегії лікування. Ці моделі враховують різні аспекти, такі як взаємодія між вірусом та господарем, дії антивірусних ліків і їх вплив на вірусну навантаженість. Використання теорії управління дозволяє розробляти стратегії лікування, які мінімізують вірусне навантаження та зменшують витрати на медичне обслуговування. Оптимальне управління враховує як ефективність антивірусних препаратів, так і інші фактори, такі як вартість лікування і втрату користі від здоров'я. Можливість покращення стратегій лікування гепатиту С може призвести до покращення ефективності лікування та якості життя пацієнтів.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Grebely J, Lamoury FMJ, Hajarizadeh B, Mowat Y, Marshall AD, Bajis S, et al. Evaluation of the Xpert HCV Viral Load point-of-care assay from venepuncture-collected and finger-stick capillary whole-blood samples: a cohort study. *Lancet Gastroenterol Hepatol* 2017;2:514–520
- [2] AASLD/IDSA HCV Guidance Panel, Hepatitis C guidance: AASLD-IDSA recommendations for testing, managing, and treating adults infected with hepatitis C virus, *Hepatology*.
- [3] Soulier A, Poiteau L, Rosa I, Hezode C, Roudot-Thoraval F, Pawlotsky JM, et al. Dried blood spots: a tool to ensure broad access to hepatitis C screening, diagnosis, and treatment monitoring. *J Infect Dis* 2016;213:1087–1095
- [4] Castera L, Sebastiani G, Le Bail B, de Ledinghen V, Couzigou P, Alberti A. Prospective comparison of two algorithms combining non-invasive methods for staging liver fibrosis in chronic hepatitis C. *J Hepatol* 2010;52:191–198.
- [5] J. Guedj, H. Dahari, L. Rong, N. D. Sansone, R. E. Nettles, S. J. Cotler, T. J. Layden, S. L. Uprichard, A. S. Perelson, Modeling shows that the NS5A inhibitor daclatasvir has two modes of action and yields a shorter estimate of the hepatitis C virus half-life, *Proc Natl Acad Sci USA* 110 (2013) 3991–3996.
- [6] Manns MP, McHutchison JG, Gordon SC, et al. Peginterferon alfa-2b plus ribavirin compared with interferon alfa-2b plus ribavirin for initial treatment of chronic hepatitis C: a randomised trial. *Lancet*. 2001;358(9286):958-965.
- [7] Fried MW, Shiffman ML, Reddy KR, et al. Peginterferon alfa-2a plus ribavirin for chronic hepatitis C virus infection. *N Engl J Med*. 2002;347(13):975-982.

*Науковий керівник – д.т.н., професор Зеленський К.Х.*

УДК 612.7: 57.087

*М.В. Борута, студентка гр. ПБ-з21мп*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІЙ МОДУЛЬ ВИМІРЮВАННЯ М'ЯЗОВОЇ АКТИВНОСТІ ПЕРЕДПЛІЧЧЯ

**Анотація.** В роботі проаналізовано особливості розроблення комп'ютерно - інтегрованого модулю вимірювання м'язової активності передпліччя, що може бути використаний для підвищення ефективності визначення зони найбільшої активності м'язів, при підготовці до біонічного протезування. Представлено функціональну схему комп'ютерно-інтегрованого модулю, розглянуто основні методи вимірювання м'язової активності рук, визначено значущі характеристик міосигналу та особливості його оцінювання і класифікації. Визначено особливості методу електроміографії, описано алгоритм функціонування запропонованого модулю і визначено подальші напрямки досліджень.

**Ключові слова:** м'язова активність, комп'ютерно - інтегрований модуль, часові характеристики, електроміографія, біонічне протезування.

### ВСТУП

Вимірювання активності м'язів є одним із ключових процесів при вивченні фізіології та рухової активності м'язового апарату тіла людини. Розуміння величини м'язової активності має важливе значення для багатьох галузей досліджень, включаючи спорт, реабілітацію, медичну діагностику та розробку інтерфейсів типу людина-комп'ютер. Один із напрямків де застосування спеціальної апаратури для вимірювання активності м'язів є вкрай важливим - це сфера біонічного протезування. Залежно від виду травми та рівня ампутації кінцівок людини, а також якості проведення хірургічних процедур і збереження провідності нервів, активність тих чи інших м'язів травмованої кінцівки може відрізнитись. При цьому, від рівня міографічного сигналу на пряму залежить і подальша якість вимірювання та точність розпізнавання керуючих жестів чи рухів, які виконує пацієнт і які в результаті повинен відтворити біонічний протез. Саме тому, створення ефективних систем і модулів для вимірювання м'язової активності досі є актуальним завданням у сфері біонічного протезування.

### МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ М'ЯЗОВОЇ АКТИВНОСТІ

Реєстрація активності певної групи м'язів руки чи ноги людини зазвичай проводиться за допомогою декількох стандартних методів вимірювання міосигналів. До таких методів можна віднести:

- електроміографію (EMG) [1],
- force-міографію [2],
- ультразвукові дослідження [3],
- спеціальні дослідження в інфрачервоному та оптичному світлі [4],
- магнітно-резонансну еластографію [5], тощо.

Наприклад, метод force-міографії для проведення досліджень використовує різні типи вимірювальних датчиків, такі як: оптоволоконні, FSR тензо-датчики [2], FSS-датчики сили, RSG сенсори опору тощо. Оптоволоконні датчики відзначаються високою чутливістю, гнучкістю, малою вагою і стійкістю до електромагнітних перешкод [4]. Тут процес вимірювання базується на механічних деформаціях оптичного волокна, де зміна кривизни світловоду впливає на кут повного внутрішнього відбиття і, відповідно, на втрати при

пропусканні світлового променя. Водночас, “золотим стандартом” серед методів вимірювання м’язової активності саме у сфері протезування є метод ЕМГ. Електроміографія передбачає реєстрацію активності та визначення біопотенціалів певної групи (у випадку використання поверхневих електродів) або конкретного м’язу (при використанні голкового електроду) у процесі його скорочення за допомогою спеціальних вимірвальних пристроїв - електроміографів [6]. Цей метод вимірювання сигналів є досить ефективним та добре вивченим, але при цьому має певний набір обмежень (наприклад, чутливість до електромагнітних перешкод, вимоги до відсутності волосяного покриву на тілі пацієнта у місці кріплення електродів, наявність надійного контакту вимірювальних датчиків з кінцівкою пацієнта, тощо). Водночас, результати вимірювання біопотенціалів м’язів не можуть бути однозначно прийняті як фінальний результат процедури і у більшості випадків потребують подальшого посилення вимірних сигналів, їх фільтрування та визначення корисних складових і набору значущих характеристик [1,2].

Як характеристики, що використовуються при аналізі електроміографічних кривих можуть використовуватись часові параметри сигналу (максимальне значення амплітуди, дисперсія, девіація, поверхневий інтеграл, тощо), спектральні характеристики, вейлвет-перетворення і авторегресивні коефіцієнти. У випадку подальшої класифікації міосигналів відносно набору жестів чи рухів якому вони відповідають, застосовуються різноманітні методи машинного навчання. Такі як метод штучних нейронних мереж, розмитої логіки, метод опорних векторів, тощо. При цьому, оцінювання точності проведеної класифікації здійснюється шляхом побудови спеціальних матриць похибок [2], які демонструють візуальне співвідношення кількості реально визначених рухів кінцівки з ідеальним (початково-заданим) набором реальних рухів.

## **РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОДУЛЮ**

На рисунку 1 представлено узагальнену схему спроектованого комп’ютерно-інтегрованого модулю вимірювання м’язової активності. Враховуючи, що у якості методу вимірювання сигналу було використано поверхневу електроміографію, то за основу модулю було обрано портативний електроміограф Muoware [7], в складі якого вже передбачено схеми підсилення та фільтрації сигналу. Подальша обробка інформації вимірної модулем, здійснювалась за допомогою АЦП і мікроконтролеру АТМega8535, що в свою чергу виконує формування вихідного пакету інформації, його передачу до ПК із програмним забезпеченням та візуалізацію рівня амплітуди сигналу на оптичний індикатор (або дисплей). В якості інтерфейсу передачі інформації було обрано UART-TTL перетворювач, а в програмне забезпечення модулю інтегровано алгоритм розрахунку часових параметрів сигналу і штучну нейронну мережу прямого поширення, що визначає вид руху, здійсненого користувачем в процесі вимірювання сигналу.

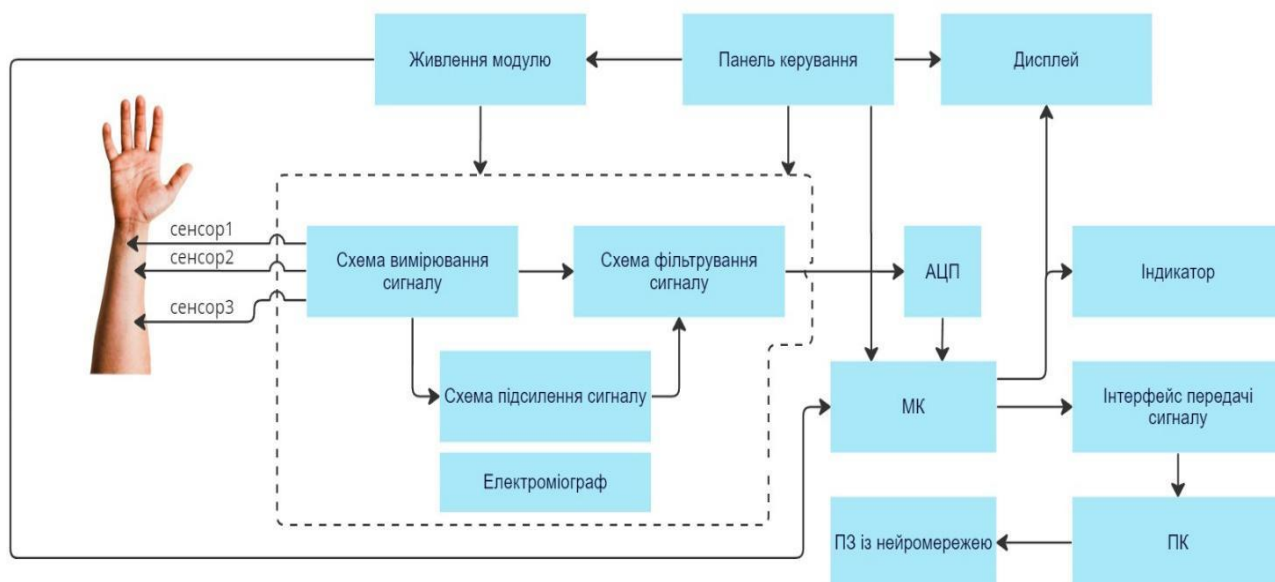


Рисунок 1. Узагальнена схема роботи автоматизованого модулю

Розроблений модуль дозволяє зареєструвати скорочення м'язів передпліччя людини, в момент виконання нею активного руху (наприклад згинання/розгинання пальців, пронацію/супінацію, рух долонею ліворуч/праворуч, тощо). При цьому, місце розташування вимірювальних електродів (сенсорів) може легко змінюватись оператором, у процесі проведення досліджень, за умови надійного контакту референтного електроду в не активній зоні передпліччя (наприклад, на ліктявому суглобі). Переміщення початкової точки вимірювання, дозволяє здійснювати пошук оптимального місця розташування вимірювального каналу, а амплітуда зареєстрованого (в тій чи іншій зоні на поверхні передпліччя) електроміографічного сигналу - одразу візуалізується за допомогою світлодіодних індикаторів та РКД дисплею, що входять до складу модулю.

Програмне забезпечення модулю створене з метою додаткової візуалізації отриманих результатів у вигляді графіку міографічного сигналу, а також для збереження відповідної інформації у текстовому файлі, що відповідає порядковому ід-номеру конкретного пацієнта. Окрім візуалізації графіку сигналу програмне забезпечення модулю з інтегрованою структурою штучної нейронної мережі виконує розпізнавання набору із чотирьох видів тестових рухів кінцівки, відображаючи тим самим приблизний вплив якості сигналу вимірюного в конкретній зоні передпліччя на подальшу точність розпізнавання заданого набору рухів.

## ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто особливості створення комп'ютерно-інтегрованого модулю для вимірювання міографічних сигналів м'язів передпліччя людини. Описано основні методи вимірювання міографічних сигналів, типові сенсори для їх реалізації, окремі обмеження і особливості застосування. Спроековано і охарактеризовано функціональну схему комп'ютерно-інтегрованого модулю на базі схеми портативного електроміографу, призначення її складових частин та

загальний алгоритм роботи пристрою. Описано призначення програмного забезпечення модулю та штучної нейронної мережі, як однієї із складових частин ПЗ. В подальших дослідженнях планується використання розробленого комп'ютерно-інтегрованого модулю та його програмного забезпечення для класифікації набору електроміограм вимірних для чотирьох видів руху долоні людини.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Vonsevych, K. P., Bezuglyi, M. O., & Haponiuk, A. O. (2018). Evaluation of Electromyogram Time Characteristics of the Wrist Functional Movements for Intuitive Control of Bionic Prosthesis. *Naukovi Visti NTUU KPI*, (1), 45-53.
- [2] Vonsevych, K. (2024). Myographic System of the Bionic Wrist with Surface Type Identification. In: Bezuglyi, M., Bouraou, N., Mykytenko, V., Tymchyk, G., Zaporozhets, A. (eds) *Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 511, pp. 193-231. Springer, Cham.
- [3] Muraki, T., Ishikawa, H., Morise, S., Yamamoto, N., Sano, H., Itoi, E., & Izumi, S. I. (2015). Ultrasound elastography-based assessment of the elasticity of the supraspinatus muscle and tendon during muscle contraction. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 24(1), 120-126.
- [4] Sikora, M., & Paszkiel, S. (2019). Muscle activity measurement using visible light and infrared. *IFAC-PapersOnLine*, 52(27), 329-334.
- [5] Heers, G., Jenkyn, T., Dresner, M. A., Klein, M. O., Basford, J. R., Kaufman, K. R., ... & An, K. N. (2003). Measurement of muscle activity with magnetic resonance elastography. *Clinical Biomechanics*, 18(6), 537-542.
- [6] Azhiri, R. B., Esmaili, M., & Nourani, M. (2021). Emg-based feature extraction and classification for prosthetic hand control. *arXiv preprint arXiv:2107.00733*.
- [7] Khan, M. A. H., Rudraraju, R. V., & Swarnalatha, R. (2022, September). Detection of Bicep Form Using Myoware and Machine Learning. In *International Conference on Advances in Data-driven Computing and Intelligent Systems* (pp. 753-766). Singapore: Springer Nature Singapore.

*Науковий керівник – к.т.н., доцент Вонсевич К.П.*

УДК 615.849.11

*Б.С. Дейнеко, студ. гр. ПБ-22*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ БІОМЕДИЧНИЙ КОМПЛЕКС

**Анотація.** Комп'ютерно-інтегрований ультразвуковий біометричний комплекс (КІУБК) представляє собою систему, яка втілює в собі сучасні принципи побудови, формує високоточне ультразвукове випромінювання з ретельним контролем показників для взаємодії з біологічними тканинами. Ці технології використовуються в медицині та наукових дослідженнях, де важливо точно контролювати параметри температури, щоб уникнути пошкодження біологічних тканин (БТ). Система КІУБК дозволяє точно налаштувати характеристики ультразвукового випромінювання та контролювати параметри температури під час лікування та медико-біологічних експериментів. Ця технологія надає можливості для високоточного, безпечного та ефективного впливу на біологічні тканини та їх поглибленого дослідження.

**Ключові слова:** комп'ютерно-інтегрований комплекс, ультразвук, біосередовище, контроль параметрів температури.

### ВСТУП

Ультразвуку у медицині є широко поширеним методом, застосування якого дозволяє лікувати внутрішні захворювання, такі як захворювання опорно-рухової системи, спортивні травми, ревматизм та інше, без хірургічного втручання [1].

### УЛЬТРАЗВУКОВИЙ БІОМЕДИЧНИЙ КОМПЛЕКС

На сьогоднішній день створена велика база методів та засобів ультразвукової терапії (ЗУТ) [2]. Основні напрями розвитку ЗУТ є використання комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизація [3]. Нами запропоноване інтегральне використання цих двох напрямів в розробці структури комп'ютерно-інтегрованого ультразвукового біомедичного комплексу, шляхом забезпечення мобільного автономного зовнішнього керування роботою комплексу (рис.1) [4].

Такий комп'ютерно-інтегрований ультразвуковий біомедичний комплекс складається з блоку фіксованих частот 1, варіатора частоти і фази сигналу 2, який видає електричні широкосмугові і стохастичні сигнали; блоку сигналів для електростимуляції 3, блоку керування, контролю та індикації 4, блоку комутації 5, підсилювача потужності (з нормалізатором амплітуди) 6, роз'єму 7 для підключення через блок перемикачів 12 ультразвукових випромінювачів 8, 13, 14 за допомогою з'єднувального кабелю 9, роз'єму 10 для підключення електродів електростимуляції, блоку низькочастотних коливань 11, вимірювачів коливань 15, та температури 16. Блоки 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11 створюють разом із системою живлення 18 електронний генератор 17. Система живлення 18 забезпечує стабілізованою напругою всі блоки комплексу. Тензометричні датчики 19.1, 19.2 та 19.3 розміщені на робочих поверхнях п'єзоелектричних випромінювачів 8, 13, 14, що прилягає до поверхні біологічної тканини та з'єднані з мікропроцесорним блоком керування 4. Система датчиків тиску 20.1, 20.2, 20.3 розташована на частині робочій поверхні ультразвукових випромінювачів 8, 13, 14 та підключена через блок перемикачів 12 до блока 4 керування, контролю та індикації. Система датчиків контролю акустичного

контакту 21.1, 21.2, 21.3 розташована на іншій частині робочої поверхні ультразвукових випромінювачів 8, 13, 14 та підключена через блок перемикачів 12 до блока 4 керування, контролю та індикації. Блок порівняння 22 під'єднаний до блоку перемикачів 12 та з'єднаний задатчиком режимів 23, який підключений до блоку 4 керування, контролю та індикації. Пульт дистанційного керування 24 взаємодіє з системою приймання та передачі сигналів 25, яка під'єднана до блоку керування, контролю та індикації 4 і входить до складу електронного генератора 17.

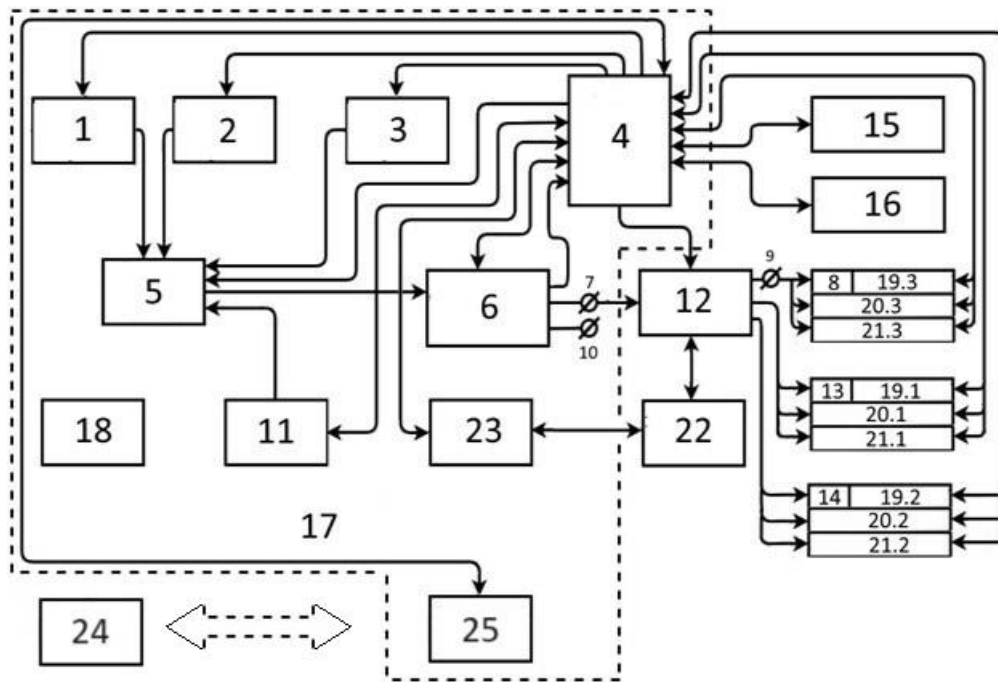


Рис. 3. Структурна схема КІУБК

Комп'ютерно-інтегрований ультразвуковий біомедичний комплекс (КІУБК) працює наступним чином: підключивши в мережу системи живлення починають працювати основні блоки апарату. Мікропроцесорний блок керування, контролю та індикації запускає блок фіксованих частот, який генерує задані електричні сигнали на фіксованих частотах (22; 44; 400) кГц та (0,88, 1,76, 2,64 і 5,28) МГц. Варіатор частоти і фази, яким керують з блоку 4, генерує широкосмугові сигнали з випадковою частотою, фазою, амплітудою в інтервалі частот від  $f_1$  до  $f_2$ , наприклад від 22 кГц до (0,8 – 5,3) МГц. Таким чином, сукупність блоків 1, 2, 4, 5, 11 в їх взаємозв'язку на рис.1 становить джерело електричних коливань ультразвукової частоти, який через керований підсилювач утворює – генератор, що підключений до блока перемикачів з'єднаний з перетворювачами електричних коливань в ультразвукові.

Система датчиків акустичного контакту розташована на іншій частині робочої поверхні ультразвукових випромінювачів 8, 13, 14 та підключена через блок перемикачів до блока керування, контролю та індикації [5].

Керований з блоку нормалізатор амплітуди, що входить до складу підсилювача 6, автоматично підтримує необхідну амплітуду електричного сигналу на виході підсилювача потужності 6 для відтворення ультразвуку

заданої інтенсивності при накладенні ультразвукових випромінювачів на біологічні об'єкти і тканини з різними акустичними характеристиками. Значення параметрів ультразвуку, що діє на біооб'єкт вимірюється тензодатчиками 19.1, 19.2 та 19.3 і передається в мікропроцесорним блоком керування [6].

Через систему датчиків тиску 20.1, 20.2, 20.3, що розташовані на частині робочих поверхнях ультразвукових випромінювачів проходить заміри значень параметрів тиску, які створюються ультразвуковими хвилями з цих випромінювачів в зоні акустичного контакту та примикання їх до біологічної тканини. А через систему датчиків акустичного контакту 21.1, 21.2, 21.3 розташованих на другій частині робочих поверхонь ультразвукових випромінювачів відбуваються заміри значень параметрів акустичного контакту, які створюються випромінюваними ультразвуковими хвилями з цих випромінювачів в зоні контакту робочої поверхні випромінювача з біологічною тканиною. Всі ці значення передаються через блок перемикачів до блока керування, контролю та індикації.

На задатчику режимів встановлюємо всі основні параметри фізіотерапевтичної процедури - середнє (максимальне) значення  $I_{cp}$  ( $I_{max}$ ) інтенсивності ультразвуку, значення потужності (тиску)  $P_{cp}$  ( $P_{max}$ ), значення робочої частоти  $f$ , тривалості дії ультразвукового імпульсу  $\Delta t$ , його скважності, амплітуди коливань шару біологічної тканини  $A_{max}$ , температури  $T_{cp}$  ( $T_{max}$ ) та її градієнтів  $\Delta T$  [7].

Ці значення поступають в блок керування, контролю та індикації та блок порівняння, де встановлюються ці значення та їх допустимі межі. Блок порівняння під'єднаний до блоку перемикачів.

Кожний із заданих параметрів із задатчика режимів 23 поступає в блок 4 керування, контролю та індикації та блок порівняння де і порівнюються з реальними значеннями параметрів ультразвукового коливання в заданих межах. При недостатніх значеннях інтенсивності чи перевищеннях значень меж терапевтичних інтенсивностей сигнал з блоку порівняння через блок перемикачів поступає на мікропроцесор блоку 4, де через виконавчі реєстри змінюється коефіцієнт підсилення в блоці 6, таким чином, щоб значення параметрів ультразвуку, що діє на біологічну тканину було в заданих межах.

При контролі параметрів реальних значень тиску порівнюються в блоці порівняння 22, де встановлені оптимальні значення та їх допустимі межі з згідно вимог програми ефективною терапії. При не відповідності необхідним значенням тиску на виході випромінювача, виконується їх корегування. При недостатньому значенню тиску чи перевищеннях значень тиску - сигнал з блоку 22 порівняння через блок перемикачів 12 поступає на мікропроцесор блоку 4 та змінюється коефіцієнт підсилення в блоці 6, таким чином, щоб значення параметрів тиску ультразвукових коливань, що діють на біологічну тканину знаходилось в заданих межах.

Мобільне автономне управління забезпечує пульт дистанційного керування, який через систему приймання та передачі сигналів, яка під'єднана і взаємодіє з блоком керування, контролю та індикації. Систему приймання та передачі сигналів входить до складу електронного генератора.



## ВИСНОВОК

Таким чином вирішується поставлена задача мобільності та автономності управління та досягається позитивний ефект з суттєвим розширенням функціональних можливостей комп'ютерно-інтегрованого ультразвукового біомедичного комплексу, шляхом дистанційного, автономного управління комплексом під час фізіотерапевтичної процедури.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик, М.В. Чухраєв, А.Ю. Кравченко, Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія . Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. ISBN 978-966-622-874-4, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>.
- [2] Фізіотерапія: підручник для студентів вищих медичних навчальних закладів/ В.Д. Сиволап, В.Х. Каленський; ЗДМУ. - 3.: ЗДМУ, 2014- 196
- [3] A. Kyrylova and N. Tereshchenko. Estimation of ultrasound influence on biological tissue, in Proc. XIII Int. Ph.D. Workshop OWD 2011, Conference Archives PTETIS, Wisla, Poland, 2011, pp. 319–323
- [4] О. С. Комарова, «Особливості реалізації комбінованого оптоволоконного інструментарію, суміщеного з пірометром», Опт-ел. інф-енерг. техн., вип. 46, вип. 2, с. 100–104, Груд 2023.
- [5] Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. Оцінка впливу ультразвукового сигналу на біологічні тканини. Частина 1 // Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобудування. — 2010. — Вип. 39. — С. 130—136.
- [6] Г.С. Тимчик, В.І. Скицюк, М.А. Вайнтрауб, Т.Р. Ключко. Чутники електромагнітного випромінювання для біотехнічних досліджень. Київ, Україна: МП "Леся", 2004
- [7] S. V. Pavlov, T.I.Koslovskaya, R. N. Rovira Design and Automation of a Videopolarimetry System for the analyzing of the Polarization Properties of a Biological Sample, Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. –2014. –№. 4(49). –С. 158-161. –ISSN 2219-9365.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент. Терещенко М.Ф.*

УДК 615.837:615.47

*А.П. Ківенко, студент гр. ПБ-02*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗРОШЕННЯ БІОСЕРЕДОВИЩА**

**Анотація.** Одним з напрямків розвитку сучасної медицини є застосування ультразвукових технологій для лікування різних захворювань [1]. У цій роботі ми пропонуємо та досліджуємо систему ультразвукового автоматизованого зрошення біосередовища, яка дозволяє ефективно впливати на біологічні об'єкти за допомогою ультразвукових хвиль. Система складається з автоматичного дозувального пристрою, який точно регулює подачу лікарського розчину, необхідного для ультразвукового зрошення, та ультразвукового перетворювача, який генерує ультразвукові хвилі заданої частоти та інтенсивності [2]. Система забезпечує можливість контролювати процес ультразвукового зрошення в реальному часі та адаптувати його до особливостей кожного пацієнта.

**Ключові слова:** система ультразвукового зрошення, дозування лікарських препаратів, стимуляції біологічних тканин.

### **ВСТУП**

Ультразвукова терапія є одним з найперспективніших напрямків сучасної медицини, який дозволяє лікувати різноманітні захворювання за допомогою ультразвукових хвиль, що впливають на біологічні тканини [3]. Одним з основних методів ультразвукової терапії є ультразвукове зрошення, яке полягає в подачі лікувального розчину на поверхню біологічної тканини за допомогою ультразвукового розпилювача. Цей метод дозволяє забезпечити антимікробний, протизапальний, знеболювальний та регенеративний ефект на інфіковані рани та органи.

Однак, ультразвукове зрошення має деякі обмеження та проблеми, які потребують вдосконалення. Перш за все, терапевтична дія ультразвуку залежить від об'єму лікувального розчину, який подається на біологічну тканину, та від параметрів ультразвукового розпилювача, таких як частота, інтенсивність, тривалість та кут розпилення. Якщо ці параметри не відповідають оптимальним значенням, то може виникнути недостатнє або надмірне зрошення, що може призвести до зниження ефективності терапії або до ускладнень, таких як опіки, некроз, кровотеча, алергія та інші. Тому необхідно розробити систему, яка б забезпечувала точне та автоматизоване дозування лікувального розчину та регулювання параметрів ультразвукового розпилювача в залежності від індивідуальних особливостей кожного пацієнта та області лікування. Така система повинна мати можливість контролювати процес ультразвукового зрошення в реальному часі та адаптувати його до змінюваних умов [4]. Метою даної роботи є розробка та дослідження системи ультразвукового автоматизованого зрошення біосередовища, яка дозволить підвищити ефективність та якість ультразвукової терапії за допомогою ультразвукового зрошення. Система має здатність визначати оптимальні параметри ультразвукового зрошення для кожної конкретної ситуації та коригувати їх відповідно до змін у біосередовищі та призначена для застосування в різних галузях медицини, де потрібне ультразвукове зрошення біологічних тканин.

## ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ

Сучасний ринок ультразвукової апаратури пропонує різноманітні моделі та виробників, які задовольняють різні потреби медичної практики. Ультразвукова апаратура складається з джерела ультразвуку, яке створює ультразвукові хвилі певної частоти та інтенсивності, та ультразвукового перетворювача, який перетворює електричні імпульси в механічні коливання. Ультразвуковий апарат також має систему управління та регулювання параметрів ультразвуку, таких як частота, інтенсивність, тривалість, кут розпилення та інші [5]. Ультразвукова апаратура повинна мати високу точність, надійність, безпечність, ергономічність та зручність використання.

Один з можливих прикладів ультразвукової апаратури серії УЗТ-101 є МІТ-11, який виробляється компанією НЦМ «Медінтех» м. Київ. Це апарат для лікування хронічного тонзиліту, синуситу та риніту. Він має один ультразвуковий перетворювач, який підключається до апарату за допомогою гнучкого шлангу. Він також має аналоговий індикатор, який показує час, частоту, потужність та режим роботи апарату.

З прикладів ультразвукового апарату компанії іноземного виробника "SORING" є Sonosa 300 [6]. Це універсальний ультразвуковий хірургічний апарат, який має три робочі частоти (25, 35, 55 кГц) і може виконувати різні функції, такі як ультразвукове різання, коагуляція, дисекція та лікування ран. Він підключається до аспіратора, який видаляє кров та тканини з операційного поля. Він також має сенсорний екран, який дозволяє налаштовувати параметри роботи апарату [7].

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА З ДОЗАТОРОМ ЛІКІВ ТА УЛЬТРАЗВУКОВИМ ЗРОШЕННЯМ ТКАНИН

Нами створена та розроблена автоматизована система з дозатором ліків з ультразвуковим зрошенням біологічних тканин та діагностикою лікувальних доз (АСДЛУЗ) застосовує комбінований принцип для розв'язання проблем лікування порожнинних органів. На рис.1 зображено автоматизована система з дозатором ліків та ультразвуковим зрошенням тканин лікувальним розчином.

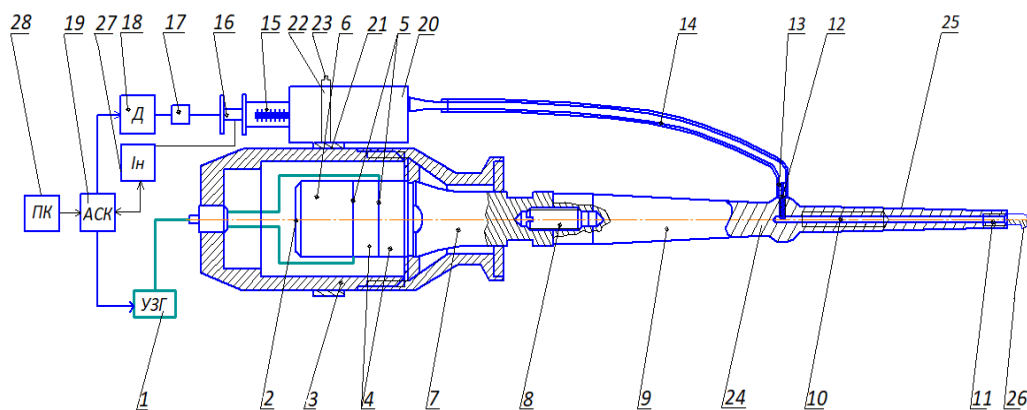


Рисунок 1. - Структурна схема автоматизованої системи з дозатором ліків та ультразвуковим зрошенням

АСДЛУЗ має генератор ультразвуку 1 та акустичного пристрою 2, який

розташований в корпусі 3 та має електромеханічний перетворювач 4. Для підключення еластичної трубки 14, яка зв'язує осьовий канал 10 з одноразовим шприцом 15, створено спеціальний отвір 12, який під'єднаний до механічного концентратора 8 і закріплений на корпусі 3 тримачем 20. Цей тримач 20 має фіксуючу обойму і кільце 22 для корпусу 3 шприца 15. Ділянка хвилеводу 9 самого пристрою виконана у вигляді віссиметричного виступу. У його центральній частині є отвір 12 для подачі і спеціально встановлений штуцер 13. До ультразвукового генератора 1 підключений реверсивний електродвигун 18 та автоматичний регулятор 19, який забезпечує обертання моторного приводу 18. Шток 16 шприца 15, який має подавати лікувальну рідину до хвилепровідного каналу 24 через гнучку трубку 14, забезпечує цей процес за допомогою черв'ячного гвинта 17. Крім того, до штока 16 шприца 15 приєднані змінні вихідні наконечники 26 різної форми, панель керування 28 та дисплей 27.

Автоматизована система з дозатором ліків та ультразвуковим зрошенням біологічних тканин функціонує таким чином. Після ввімкнення сигнал з пульта управління 28 активує автоматизована система керування (АСК) 19, з якої сигнали надходять на ультразвуковий генератор (УЗГ) 1 та двигун 18. Сигнал генератора 1 запускає акустичну систему 2, активує електромеханічну систему з перетворювачами 4 і генерує коливання. Ці коливання направляються випромінюючою прокладкою і механічний підсилувач 7 до хвилеводу 24 і від основи наконечника 25 по хвилеводу 24 до вихідного наконечника 26. Наконечники 26 можна замінити. Рідина з ліків надходить в канал 10 через отвір 12 і штуцер 13, та з'єднаний з еластичною трубкою і шприцом 15. В шприці міститься лікувальний розчин. Програмно і залежно від об'єму лікарського розчину, встановленої на пульті управління 28, система керування подає сигнал на реверсивний двигун 18, що обертає вал, який з'єднаний з черв'ячком 17, що нормує руху штока 16. Штока 16 під'єднаний до індикаторного пристрою, який індикує кількісний об'єм необхідної речовини, введеної в хвилевідний пристрій. Тоді як частота коливань взаємодіє з розчином і перетворюють її в дисперсну хмарку, що виходить зі отворів змінних наконечників 26. Так змінюючи номенклатуру та форму даних наконечників, хмарка розпилюваного розчину краще може проникати в необхідні фізіологічні отвори людського тіла.

## **ВИСНОВКИ**

У цій роботі нами запропоновано та досліджено систему ультразвукового автоматизованого зрошення біосередовища, яка дозволяє підвищити ефективність та якість ультразвукової терапії за допомогою ультразвукового зрошення. Вона має здатність визначати оптимальні параметри ультразвукового зрошення для кожної конкретної ситуації та коригувати їх відповідно до змін у біосередовищі.

Таким чином, розроблено та досліджено автоматизовану систему з дозатором ліків з ультразвуковим зрошенням біологічних тканин, яка є перспективним напрямком конструюванням напряму ультразвукової терапії. Ми показали, що система має багато переваг, таких як висока точність, ефективність, безпечність, ергономічність та зручність використання. Вона має більшу

терапевтичну ефективність, ніж інші ультразвукові апарати. Ми рекомендуємо застосування системи ультразвукового автоматизованого зрошення біосередовища в різних галузях медицини, де потрібне ультразвукове зрошення біологічних тканин.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Терещенко М.Ф., Ківенко А.П. Автоматизована система ультразвукового зрошення тканин лікувальним розчином / Сучасні технології біомедичної інженерії : матеріали II міжнародної науково-технічної конференції 17–19 травня 2023 р. / за заг. ред. І. В. Прокоповича, Н. В. Манічевої ; Нац. ун-т «Одеська політехніка». — Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2023. — с.72-74 [https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1eeQQzmk97uWXm\\_3Cq4ZtM5YL u7UZUmWj](https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1eeQQzmk97uWXm_3Cq4ZtM5YL u7UZUmWj)
- [2] A. J. Welch, J. C. Martin, “Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue”, *Physics and Astronomy*, (R0), pp.958, 2016. DOI: 10.1007/978-90-481-8831-4
- [3] Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. Оцінка впливу ультразвукового сигналу на біологічні тканини. Частина 1 // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування. — 2010. — Вип. 39. — С. 130—136.
- [4] Peng P., Yang L., Zhangyong L., ...& Yu P. (2017) Design of an ultrasonic physiotherapy system with pulse wave feedback control. *Technology and Health Care*, 25, 305 – 315.
- [5] М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, О. Г. Ляшенко, О. С. Гнатейко, “Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси в біологічних тканинах”, Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування, №49, 2015, с. 153–158.
- [6] H.S. Tymchyk, V.I. Skytsiouk, M.A. Vayntraub, T.R. Klotchko. Vidchutnyky kontrol'no-vymiryval'nykh system: monohrafiya. Kyuiv, Ukrayina: NTUU «KPI» VPI VPK «Politekhnika», 2008.

*Наук. керівник – доц. Терещенко М.Ф.*

УДК 616-77:612.88

*Ю.В. Лобур, аспірант гр. ПБ-31ф, к.т.н, доц. Вонсевич К.П.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ОСОБЛИВОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ БІОНІЧНИМ ПРОТЕЗОМ РУКИ**

**Анотація:** У роботі розглянуто основні особливості розпізнавання форми об'єктів маніпуляції системою керування біонічної руки. Досліджено методи розпізнавання форми та моменту вислизання предметів, визначено основні обмеження по їх застосуванню та типові сенсори для реалізації вимірювальних систем. Запропоновано узагальнену функціональну схему системи розпізнавання форми об'єктів маніпуляції.

**Ключові слова:** розпізнавання форми, сенсорика, біонічний протез руки, оптичні датчики, машинне навчання.

### **ВСТУП**

Технологічні інновації досить активно застосовуються в різних галузях науки і промисловості, зокрема і в протезування та розробці високотехнологічних роботизованих кінцівок. Біонічні протези дозволяють не лише естетично відтворювати втрачену частину кінцівки пацієнта, а і частково відтворювати її сенсорно-моторний функціонал. Так, наприклад, використання пацієнтом біонічного протезу руки дозволяє виконувати деякий набір хапальних рухів, жестів чи маніпуляції кожним пальцем штучної долоні [1]. Однак, кожна біонічна кінцівка має і власні обмеження, що залежать від конкретної конструкції протезу, реалізації її системи керування, наявності зворотного зв'язку, автономності роботи, тощо [2]. Одним із актуальних завдань, що досі не вирішені повністю навіть передовими розробниками біонічних протезів є запобігання вислизанню предметів з пальців та розпізнавання їхньої форми для подальшого надійного охоплення і адаптації системи керування штучної руки під кожен конкретний об'єкт.

### **МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ**

Існує декілька підходів для аналізу моменту проковзування та визначення форми об'єктів маніпуляції. Умовно їх можна поділити на [3, 4]:

- ідентифікацію об'єктів за допомогою тактильних методів і сенсорів (базуючись на інформації про розподілі тиску, силі тертя, шорсткості, тощо),
- використанні методів обробки зображень (попиксельний аналіз зображень із камер, оптичних матриць, тощо)
- комбіноване застосування елементів тактильного і оптичного методу.

Для виявлення моменту проковзування зазвичай використовуються багатокомпонентні датчики сили, FSR - сенсори, інформація про вібрацію, а також методи, що покладаються на нормальний чи тангенційний компонент розподілу сили і модель тертя Кулона [4]. Однак, такий аналіз є досить складним процесом і передбачає застосування у розрахунках швидких перетворень Фур'є та Вейвлет-коефіцієнтів.

Водночас, рішення про траєкторію руху пальців роботизованої кінцівки та ідентифікація форми об'єктів часто базується на застосуванні методів Computer Vision та застосуванні технік глибокого навчання і згорткових нейронних мереж. Такі мережі потребують великої кількості вхідних даних, а також додаткового

машинного часу для навчання та тестування системи керування, що в свою чергу передбачає застосування дорогого апаратного забезпечення та складність використання системи у реальному житті. Додатковою проблемою в подібних розрахунках є і динамічна зміна кута огляду об'єкту ідентифікації та загальна динамічність навколишнього середовища [5, 6]. Додатковим обмеженням, яке необхідно враховувати при практичній реалізації протезної кінцівки, що використовує методи обробки зображень є і фактичне розміщення камери (або іншої оптичної системи) та громіздких обчислювальних схем у складі конструкції протезу.

Більш практичним підходом до аналізу форми та розмірів предметів в галузі протезування є метод роботизованого розпізнавання об'єктів на основі інформації про їх контури. У такому випадку, зображення отримане із ПЗЗ чи камери (рисунок 1), досліджується за допомогою методів виявлення країв [7] і суперпіксельної сегментації.

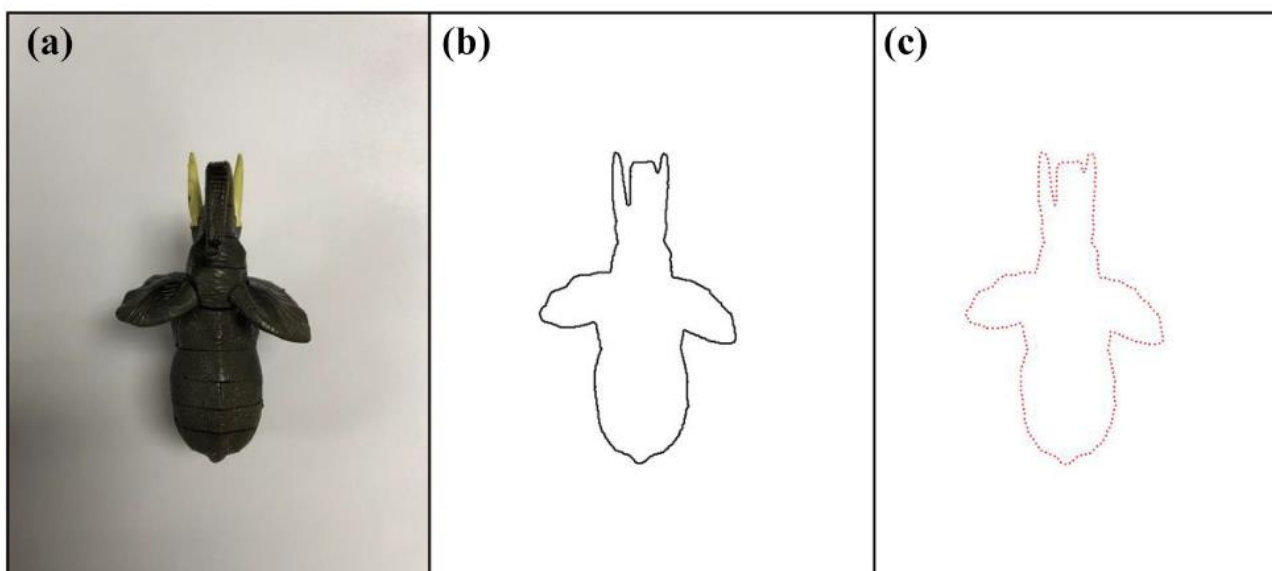


Рисунок 1. (a) Оригінальне зображення об'єкту, (b) контурна форма, (c) набір реперних точок, отриманих шляхом еквідистантного відбору [7]

Подібна технологія дозволяє обчислювати форму об'єкта, використовуючи відносну відстань між його центром і хапальним механізмом протезу, що в подальшому дозволяє сформувати правильну початкову позицію штучної кінцівки для подальшої реалізації відповідного хвату. При цьому, формування контуру об'єкту маніпуляції реалізується у вигляді масиву реперних точок за допомогою методу MTCD (multiscale triangular centroid distance) [7].

## **РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ**

Враховуючи описані вище особливості та обмеження до реалізації, авторами було розроблено узагальнену функціональну схему системи розпізнавання форми об'єктів маніпуляції для біонічного протезу руки (рисунок 2). Як видно з рисунку, запропонована система використовує комбінований метод ідентифікації об'єктів маніпуляції і складається з оптичних блоків

ідентифікації та сканування, а також масиву датчиків тиску для аналізу розподілення сили, з якою пальці протезу охоплюють об'єкт

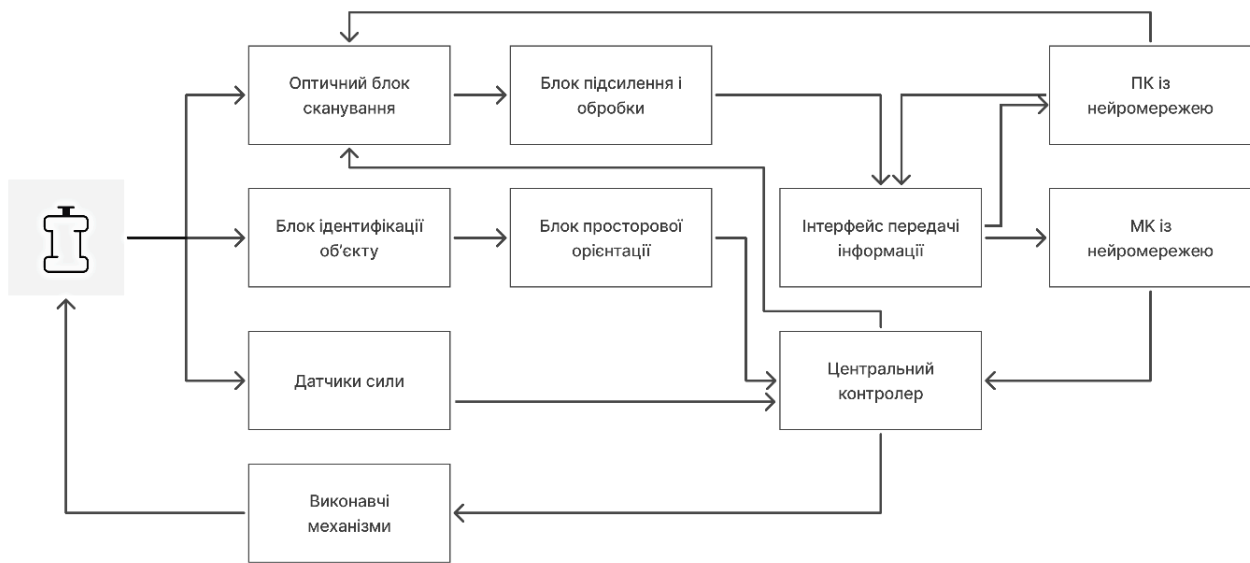


Рисунок 2. Функціональна схема системи розпізнавання

Перед початком процедури розпізнавання, запропонована система за допомогою блоку початкової ідентифікації повинна виявляти присутність предмету, з яким в подальшому взаємодіятиме протез та порівнювати його місцезрештування з просторовою орієнтації штучної кінцівки. Після отримання дозволу на початок сканування об'єкту від центрального процесора протезу, інформація з оптичного сенсору (після пост-обробки) повинна надсилатись до ПК, або спеціального мікроконтролера із неймережею, яка і визначає параметри форми і розмірів об'єкту та відповідає за подальшу його класифікацію згідно з визначеним набором можливих класів. Рішення неймережі повинно враховуватись у алгоритмі керування центрального процесора біонічної кінцівки та як наслідок, впливати на подальшу траєкторію руху виконавчих механізмів протезу.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У цій роботі авторами було проаналізовано особливості розпізнавання форми об'єктів маніпуляції протезом руки. Визначено основні методи ідентифікації та розпізнавання об'єктів, принципи реалізації подібних систем, їх обмеження і конструктивні особливості. Запропоновано функціональну схему системи розпізнавання розмірів і форми для біонічного протезу руки та коротко пояснено принцип її функціонування. В подальших роботах авторами планується подальша розробка вимірювального модулю системи на основі засобів оптичного сканування та розробка алгоритму розпізнавання об'єктів і просторової орієнтації кінцівки.



## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] K. Vonsevych et al., “Fingers movements control system based on artificial neural network model”, *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 62, no. 1, pp. 23—33, 2019
- [2] Vonsevych, K. (2024). Myographic System of the Bionic Wrist with Surface Type Identification. In: Bezuglyi, M., Bouraou, N., Mykytenko, V., Tymchyk, G., Zaporozhets, A. (eds) *Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 511, pp. 193-231. Springer, Cham.
- [3] Ciancio, A. L., Cordella, F., Barone, R., Romeo, R. A., Bellingegni, A. D., Sacchetti, R., Zollo, L. (2016). “Control of Prosthetic Hands via the Peripheral Nervous System.” *Frontiers in Neuroscience*, 10
- [4] Gentile, C., Cordella, F., Rodrigues, C. R., & Zollo, L. (2020). Touch-and-slippage detection algorithm for prosthetic hands. *Mechatronics*, 70, 102402
- [5] Castro, M. C. F., Pinheiro, W. C., & Rigolin, G. (2022). A Hybrid 3D Printed Hand Prosthesis Prototype Based on sEMG and a Fully Embedded Computer Vision System. *Frontiers in Neurorobotics*, 15, 751282
- [6] Weiner, P., Starke, J., Rader, S., Hundhausen, F., & Asfour, T. (2022). Designing prosthetic hands with embodied intelligence: the kit prosthetic hands. *Frontiers in Neurorobotics*, 16, 815716
- [7] Wei, A. H., & Chen, B. Y. (2020). Robotic object recognition and grasping with a natural background. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 17(2), 1729881420921102 [0]

*Наук. керівник – к.т.н, доцент, Безугла Н.В.*

## УДК 615.47

*Г.А. Пащенко, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

### КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА ЛАЗЕРНА СИСТЕМА

**Анотація.** Комп'ютерно-інтегрована лазерна система (КІЛС) представляє собою новітній пристрій, який втілює в собі сучасні принципи побудови, високоточне лазерне випромінювання з ретельним контролем температури для взаємодії з біологічними тканинами. Ці технології використовуються в медицині та наукових дослідженнях, де важливо точно контролювати параметри температури, щоб уникнути пошкодження тканин. Система КІЛС дозволяє точно налаштувати характеристики лазерного променя та контролювати температуру під час хірургічних операцій, лікування та медико - біологічних експериментів. Ця інноваційна технологія відкриває нові горизонти для високоточного, безпечного та ефективного впливу на біологічні тканини та їх поглибленого дослідження параметрів взаємодії.

**Ключові слова:** комп'ютерно-інтегрована система, лазерне випромінювання, біосередовище, контроль параметрів температури.

### ВСТУП

Лазерне випромінювання завжди було важливим інструментом у медицині, зокрема в хірургії, стоматології, дерматології та терапії. Однак, контроль параметрів температури є одним з критичних аспектів при дії лазерних променів на біосередовище [1]. Перегрівання або недостатньо інтенсивне опромінення може призвести до катастрофічних наслідків для пацієнтів.

Комп'ютерно-інтегровані лазерні системи (КІЛС) є комплексно технологічними системами, які використовуються для лікування біологічних тканин за допомогою дії лазерного випромінювання [2]. Ці технології можуть бути використані в різних медичних процедурах і дослідженнях. Проте у більшості діючих систем даного типу є недоліки у вигляді відсутності контролю параметрів температури на біологічній тканині.

### ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ

В ХХІ столітті комп'ютерно-інтегровані лазерні системи відіграють визначальну роль у розвитку передових технологій в сферах медицини, науки та промисловості. Поєднання лазерного випромінювання з високотехнологічними комп'ютерними системами відкриває широкий спектр можливостей та висвітлює нові сфери застосування [3].

В даній статі проведено аналіз сучасних комп'ютерно інтегрованих лазерних система. Проаналізовано тенденції розвитку КІЛС та визначено, що в галузі лазерних систем медичний сектор суттєво розширюється та потребує найбільшої уваги [4]. Крім того, в результаті наших досліджень було розроблено і запропоновано нову класифікацію КІЛС, станом на другу половину 2023 року, що представлено на рисунку 1.

Отже, встановлено, що комп'ютерно інтегровані лазерні системи можна поділити за такими загальними ознаками і характеристиками, як: автоматизація, режим генерації, область використання, принцип дії, довжина хвилі лазерного випромінювання, а також ефекту по впливу на біосередовище [5].

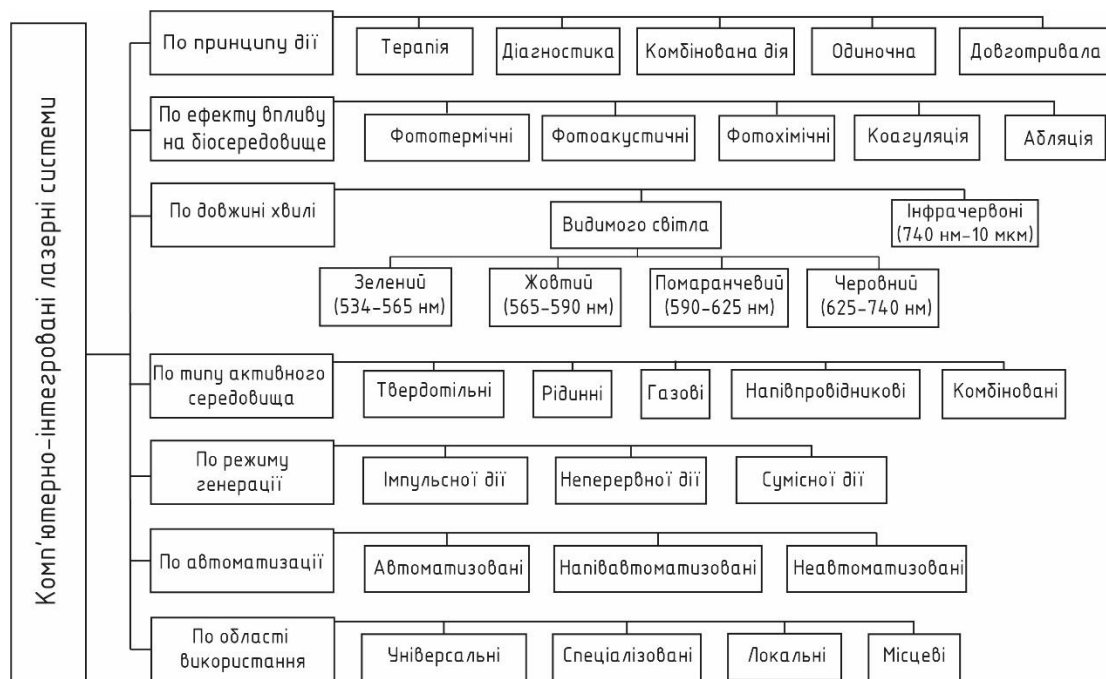


Рисунок 1. Класифікація КІЛС

Визначивши, що медичний сектор все більше розширює спектр послуг з використанням КІЛС, було запропоновано модифікацію КІЛС з використання системи безпеки, шляхом контролю параметрів температури біосередовища, що надає можливість зменшити побічні ефекти під час проведення фізіотерапевтичних та косметологічних процедур [6]. Проаналізувавши тенденції розвитку і принципові особливості роботи КІЛС було встановлено загальний алгоритм роботи таких систем, що представлено на рисунку 2.



Рисунок 2. Загальний алгоритм роботи КІЛС

Загальний алгоритм роботи КІЛС, на рисунку 2, фіксує основні етапи проведення процедур. Серед основних етапів можна виділити налаштування

КІЛС (увімкнення, подання напруги, формування сигналу та випромінювання), а також етапи проведення самої лазерної процедури. Цей алгоритм не забезпечує контроль над процесом проходження процедури.

Тому нами розроблено вдосконалений алгоритм роботи КІЛС, що надає змогу інтеграції системи контролю параметрів температури на біосередовищі, що представлений на рисунку 3.

Таким чином, запропонована модифікація стане гарантом впевненості пацієнтів щодо надання якісних і безпечних послуг з використанням КІЛС. В результаті значно зменшиться кількість випадків утворення опіків на біосередовищі через некомпетентність операторів і персоналу КІЛС [7]. А також модифікація надає можливість проведення процедур і навчань на даних системах з максимальною безпекою.

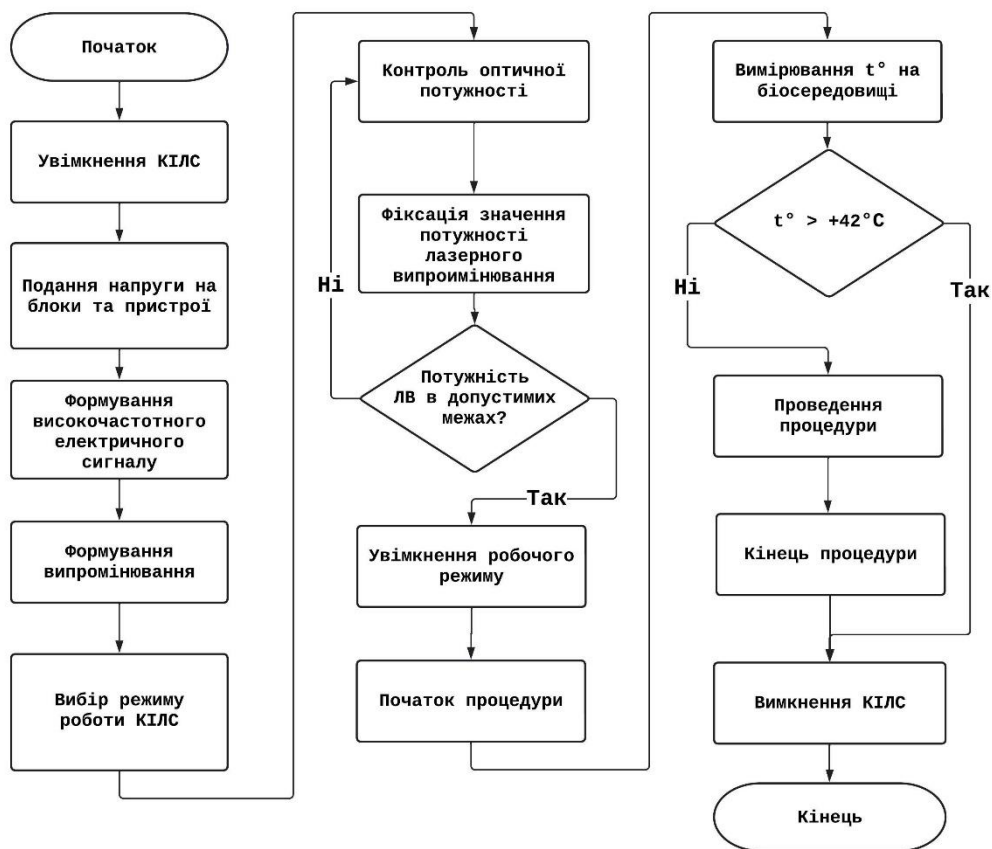


Рисунок 3. Алгоритм керування КІЛС з системою контролю температури

Алгоритм, що представлений на рисунку 3 представляє собою модифікований алгоритм роботи КІЛС засобами безпеки у вигляді системи контролю параметрів температури. Дана система вимірює показники температури на біосередовищі у допустимому діапазоні до критичних меж (42 °С). У разі перевищення допустимих значень система вимикає живлення КІЛС.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання досліджень проведено огляд і аналіз сучасних КІЛС та можливих модифікації даних систем. В результаті розроблено і запропоновано актуальну класифікацію КІЛС, що в свою чергу надає можливість встановити

тенденції розвитку даних системах. Розроблено модифікацію КІЛС з доданням системи безпеки в складі системи контролю температури біосеридовища. Системи безпеки покращує впевненість пацієнтів та досвід операторів КІЛС під час проведення процедур. Отже, з максимальною впевненістю і достовірністю можна сказати, що безпека пацієнтів є найважливішим критерієм для пацієнтів.

Отже, дана модифікація КІЛС є актуальною в наш час і потребує подальших роботи з впровадження в існуючі комп'ютерно-інтегровані лазерні системи.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Дастжерді А.Х.М., Скицюк В.І., Ключко Т.Р., Голопура С.І. Стимуляція регенерації біологічних структур випромінюванням фізіотерапевтичних приладів серії «ПРОМІНЬ», // Фотобіологія та фотомедицина. - 2010. - № 3(4). – С. 102-105.
- [2] Пащенко Г.А., Терещенко М.Ф., Алгоритми керування комплексами лазерно-світлової терапії / Сучасні технології біомедичної інженерії : матеріали II міжнародної науково-технічної конференції 17–19 травня 2023 р. / за заг. ред. І. В. Прокоповича, Н. В. Манічевої ; Нац. ун-т «Одеська політехніка». — Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2023. — с.152-156
- [3] З. Ю. Гостра, С. В. Павлов, З. М. Микитюк і др. “Фізичні основи функціонування лазерів, їх класифікація та параметри” у Лазерні медичні технології: навчальний посібник, В. Дружиніна, Ред., Вінниця, Україна: ВНТУ, 2017, с. 5-33
- [4] Пащенко Г.А., Терещенко М.Ф., Лазеротерапевтична автоматизована система / Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика: матеріали IV Міжнарод. наук.-техн. конфер., 01-02 грудня 2022 р. / Г.В. Лісачук (голова оргком.) Х. 2022. 232 с., - с.50-51
- [5] A. J. Welch, J. C. Martin, “Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue”, *Physics and Astronomy*, (R0), pp.958, 2016. DOI: 10.1007/978-90-481-8831-4
- [6] Терещенко М.Ф. Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси в біологічних тканинах / М.Ф.Терещенко, Г.С. Тимчик, О.Г. Ляшенко, О.С. Гнатейко. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2015. – №49. – С. 153–158
- [7] IEC 60793-1-43: Optical Fibres, Part 1: Measurement Methods and Test Procedures, Section 43: Numerical Aperture, 2001.

*Наук. керівник – доц. Терещенко М.Ф.*

**УДК 615.84: 615.032**

*Д.К. Подсєвак, студент гр. ПБ-з21мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКУ НА БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ ПРИ ДІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО БІОМЕДИЧНОГО КОМПЛЕКСУ**

**Анотація.** В статті представлено результати дослідження залежності параметрів ультразвукових коливань з автоматизованого біомедичного комплексу: різної інтенсивності, тривалості впливу, частоти та форми сигналу, на глибину проникнення фармацевтичних препаратів в середину біологічних тканин. В результаті експериментальних досліджень встановлено залежність, та запропонована математична модель, яка дозволила більш точно передбачати час проведення процедури та висвітила показники проникнення лікарського препарату в глибинні шари біологічних тканин організму. Ціль дослідження полягає у вивченні неінвазивного методу введення фармацевтичних препаратів за допомогою ультразвуку з ультразвукового автоматизованого біомедичного комплексу (АУБК), оскільки описані технології абсорбції є більш ефективними, безпечними та не викликають дискомфорту серед пацієнтів у порівнянні з інвазивними методами.

**Ключові слова:** ультразвукові коливання, фонофорез, проникність, трансдермальне введення препаратів.

### **ВСТУП**

В останні роки набуває широкого використання в терапевтичній практиці та косметології використання комбінованого впливу ультразвукових (УЗ) коливань в взаємодії з фармацевтичними препаратами (ФП) [1]. Підставою для цього стали експериментальні дослідження, які довели ефективність абсорбції ФП в м'які та тверді тканини під дією впливу УЗ коливань, та їх здатність підвищувати показники проникності, стимулювати дифузійні процеси [2].

Підвищення проникності шкіри і відповідно, посилення дифузійний процесів в результаті впливу УЗ коливань наряду з активацією в організмі фізіологічних процесів стали підставою для використання УЗ для транспортування лікарських засобів через шкіру чи слизові оболонки організму, не пошкоджуючи їх цілісності. УЗ коливання можна розглядати як певний фізичний каталізатор, що активує біофізичні, біохімічні та фізико-хімічні процеси [3].

### **МЕТА РОБОТИ**

Метою даної роботи є проведення експериментів з УАБК, що генерує ультразвукові коливаннями різної інтенсивності, частоти, тривалості імпульсів та форми сигналу для вивчення їх ефективності на глибину проникнення протягом визначеного часу при введенні фармацевтичних препаратів у біологічну тканину на різну глибину протягом певного часу [4]. Застосування цієї методики дозволяє створювати високу концентрацію препарату в локальній зоні, що є найбільш ефективним у випадках, коли необхідно депонувати необхідну кількість препарату для пролонгованої дії, наприклад, при хронічних болях в кісткових тканинах [5].

### **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТУ**

Поставлена мета вирішувалась шляхом визначення взаємозв'язку між глибиною та швидкістю проникнення ФП в біологічні тканини (БТ), в залежності від значень параметрів (інтенсивності, частоти, тривалості дії та форми сигналу) УЗ коливань.

Для практичного обґрунтування ефективності було проведено декілька серій дослідів на зразках біологічної тканини, з використанням різних лікарських засобів, таких як розчини йоду (I), зелені брильянтової (C27H34N2O4S) та діамантовий синій (C37H34N2Na2O9S3) [6].

Проведення дослідів виконувалось з використанням експериментальної установки, структурна схема якої зображена на рис.1.

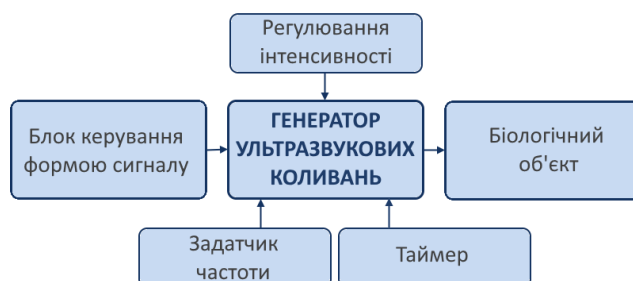


Рис 1. Структурна схема експериментальної установки для визначення глибини проникнення препаратів від заданих параметрів ультразвуку

Для генерації УЗ коливань було обрано декілька апаратів: апарат ультразвукової терапії «Sonic-Stimu Pro UT1041», апарат ультразвукової терапії «УЗТ-1.01Ф» та апарат для фізіотерапії комбінований «МІТ-11».

Встановлено, що глибина проникності для ультразвукових коливань терапевтичного діапазону, в першу чергу, залежить від частоти: на частоті 44 кГц вона становить (7-8) мм, 880 кГц – (4-5) мм та на 2640 кГц – (1-3) мм. По-друге – від властивостей та структури самої біологічної тканини, на яку здійснюється вплив [7].

При проведенні експерименту в якості дослідного зразка біологічної тканини було обрано сало (жирову тканину) свині, яку попередньо було витримано в фізіологічному розчині NaCl 0,9% на протязі 30 хвилин. Наступним кроком наносимо невелику кількість лікарського засобу на БТ та задавши відповідні параметри (інтенсивність, тривалість дії) на генераторі УЗ коливань проводимо озвучування дослідного зразку БТ. Після закінчення відповідного дослідів виконуємо зрізи та проводимо контрольні заміри значення глибини проникнення препарату в гліб дослідного зразка.

Загальний вигляд експериментальної установки наведено на рис.2.



Рис.2. Експериментальна установка  
1 – апарат ультразвукової терапії «Sonic-Stimu Pro UT1041», 2 – апарат ультразвукової терапії «УЗТ-1.01Ф», 3 – комбінований фізіотерапевтичний апарат «МІТ-11»; 4 – фармакологічні препарати; 5 – біологічний об'єкт

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Під час проведення експериментальних досліджень були отримані результати глибин проникнення та сформувані висновки: - підвищення значення інтенсивності УЗ коливань в межах терапевтичного діапазону (до 2,0 Вт/см<sup>2</sup>) призводить збільшення проникності ФП в біологічну тканину (рис.3); - в результаті зменшення частоти УЗ коливань відбувається підвищення його форетичної активності та введенням в організм більшої кількості лікарського препарату; - збільшення часу процедури призводить до зростання значення глибини проникнення фармакологічної речовини в БТ (рис.4).

Перший етап експерименту має на меті дослідити залежність глибини проникнення фармакологічної речовини (ФР) від інтенсивності УЗ при тривалості дії 5хв, 10хв та 15хв; вплив здійснювали за допомогою апарату ультразвукової терапії «УЗТ-1.01-Ф», значення інтенсивності: 0, 0,2; 0,5; 0,1; 2,0 Вт/см<sup>2</sup>.

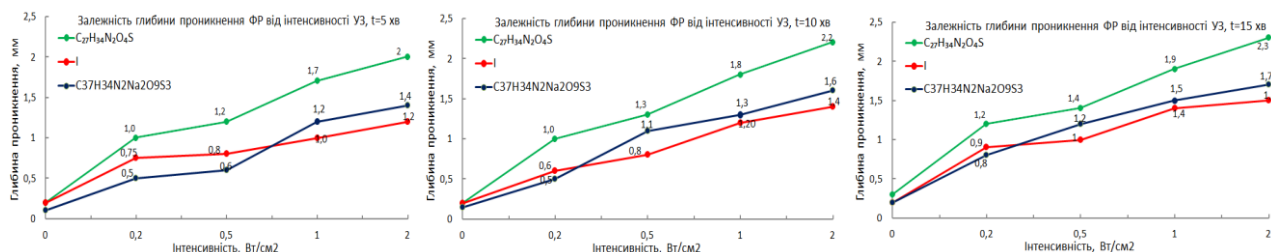


Рис. 3. Залежність глибини проникнення ФР від інтенсивності УЗ, t=5 хв, t=10 хв, t=15 хв

Другий етап експерименту, має на меті дослідити залежність глибини проникання ФП від часу впливу УЗ коливань на БТ. В якості генератора УЗ коливань використовували комбінований апарат для фізіотерапії «МІТ-11». Час озвучування ультразвуком: 1, 3, 5, 10, 15 хв.

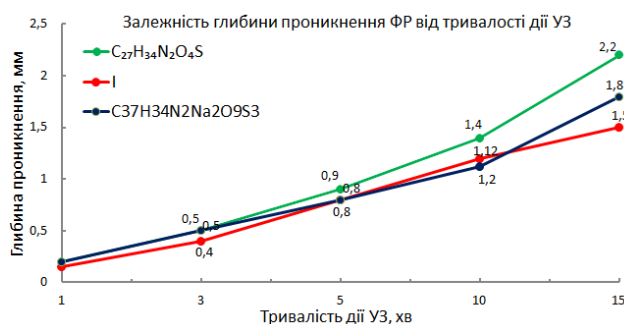


Рис. 4. Залежність глибини проникнення ФР від тривалості дії УЗ

Використання УЗ коливань в неперервному режимі забезпечує кращу проникність, чим при озвучуванні контактного середовища з препаратом в імпульсному режимі (табл.2.).

Таблиця 2. Залежність глибини проникнення ФР від режиму генерації УЗ

Режим генерації УЗ коливань	Глибина введеної речовини, мм		
	C <sub>27</sub> H <sub>34</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> S	I	C <sub>37</sub> H <sub>34</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>9</sub> S <sub>3</sub>
Неперервний	2,2	1,2	1,4
Імпульсний (10мс)	1,8	1,0	1,6



## ВИСНОВКИ

Доведено, що значення глибини проникнення для різних ФП залежить від інтенсивності ультразвуку і знаходиться в межах від 0,8 мм для розчину діамантової синього до 2,2 мм для розчину брильянтової зелені.

Глибина проникнення ФП в жирону тканину свині розчини йоду (I), зелені брильянтової (C27H34N2O4S) та діамантової синій (C37H34N2Na2O9S3) при дії ультразвукових коливань з інтенсивністю 1 Вт/см<sup>2</sup> при тривалості від 1 хв. до 15 хв. становить від 1,0 мм до 2,2 мм при імпульсному та неперервному режимах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] С.Б. Паньков, , Терещенко М.Ф., «Залежність параметрів проникнення фармакологічних препаратів у біологічну тканину від дії ультразвукових коливань різної інтенсивності», Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 29(68), №4, ч.1, 2018. – С.61-66
- [2] Ahmadi, F., McLoughlin, I. V., Chauhan, S.& ter-Haar, G(2012). Bio-effects and safety of low-frequency ultrasonic exposure. Progress in biophysics and molecular biology, 108, 119 – 138.
- [3] Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. «Оцінка впливу ультразвукового сигналу на біологічні тканини. Частина 1», Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Приладобудування. — 2010. — Вип. 39. — С. 130—136
- [4] Peng P., Yang L., Zhangyong L., ...& Yu P. (2017) Design of an ultrasonic physiotherapy system with pulse wave feedback control. Technology and Health Care, 25, 305 – 315.
- [5] Терещенко, М.Ф., Тимчик Г.С., Паньков С.Б., Чухраєв М.В. «Визначення глибини проникнення фармакологічних препаратів у біологічний об'єкт при ультрафонофорезу» Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. -2018. – №.56(2). – с.97-103.
- [6] Nakan I., Sema A. (2011). The design of ultrasonic therapy device via fuzzy logic. Expert systems with applications, 38, 7342-7348.
- [7] Дастжерді А.Х.М., Скицюк В.І., Ключко Т.Р., Голопура С.І. Стимуляція регенерації біологічних структур випромінюванням фізіотерапевтичних приладів серії «ПРОМІНЬ», // Фотобіологія та фотомедицина. - 2010. - № 3(4). – С. 102-105.

*Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.*

**УДК 615.47**

*Р.А. Рогожніков, студ. гр. ПБ-21мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОНИКАННЯ ЛІКАРСЬКИХ РЕЧОВИН В БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ З АВТОМАТИЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ МАГНІТНОЇ ТЕРАПІЇ**

**Анотація.** Розглянуто застосування програмного забезпечення Comsol Multiphysics для точного моделювання процесів впливу магнітного поля на біологічні тканини [1]. Проведено аналіз технічних аспектів використання програмного забезпечення (ПЗ) Comsol Multiphysics, обґрунтовано його вибір для моделювання проникнення лікарських речовин (ЛР). Застосування цього програмного забезпечення дозволяє отримати високу точність та надійність результатів, важливих для біомедичних досліджень [2]. Моделювання проникнення лікарських речовин, таких як йод та діамантовий зелений, під впливом магнітного поля виконано на двох різних біологічних тканинах – жировій тканині свині та черв'ячній тканині.

**Ключові слова:** магнітне поле, Comsol Multiphysics, проникнення лікарських речовин, біологічні тканини, магнітна терапія, точність, ефективність лікування.

### **ВСТУП**

У світлі стрімкого розвитку сучасної медицини та технологій, дослідження в галузі моделювання проникнення лікарських речовин в біологічні тканини стає актуальним завданням, спрямованим на вдосконалення методів лікування та підвищення ефективності медичних втручань [3]. Зокрема, автоматизовані системи магнітної терапії, що базуються на інноваційних рішеннях та використанні програмного забезпечення Comsol Multiphysics, відкривають нові можливості для точного моделювання та аналізу процесів проникнення лікарських речовин у біологічних тканинах [4].

Метою дослідження є огляд та аналіз технічних аспектів використання цього програмного забезпечення, а також проведення процесу моделювання і визначення глибини проникнення лікарських речовин в біологічні тканини та порівняння цих значень без впливу магнітного поля (МП) та при його дії.

### **ВИКОРИСТАННЯ ПЗ COMSOL MULTIPHYSICS ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОНИКАННЯ ЛР В БІОСЕРЕДОВИЩЕ**

Існує різноманітна множина ПЗ для моделювання фізичних явищ й розв'язку задач в різних областях. Вибір програмного забезпечення Comsol Multiphysics для проведення дослідження є обдуманим та обґрунтованим рішенням, оскільки це програмне забезпечення має численні переваги, які ідеально відповідають потребам в області моделювання проникнення ЛР в біологічні тканини з використанням, як джерело магнітного поля, автоматизованих систем магнітної терапії (АСМТ). Дана система має перевагу в можливості формування змінних магнітних полів різних форм при регулюванні значень магнітної індукції та частоти, високій точності та надійності результатів, що є важливо для біомедичних експериментів [5]. АСМТ має зручний інтерфейс, який не вимагає значного часу для навчання, та широкий спектр модулів, що дозволяє гнучко адаптувати програму під конкретні вимоги самого дослідження [6]. Було змодельовано процес проникнення лікарських речовин під дією магнітного поля, зокрема препаратів йоду (I) та діамантового зеленого ( $C_{27}H_{34}N_2O_4S$ ), в біологічний зразок, де об'єктом моделювання були взяті дві

різні біологічні тканини - жирова тканина свині та черв'ячна тканина. Параметри моделі враховували фізичні та хімічні властивості лікарських речовин, а також характеристики обраних біологічних тканин [7]. Зокрема, розглядалась геометрія об'єктів, аспекти взаємодії з магнітним полем і його параметри та розподіл тепла під впливом дії магнітного поля на лікарські речовини. На рисунках 1 та 2 представлені результати моделювання, які ілюструють процес проникнення йоду та діамантового зеленого в різні біологічні тканини. Рисунок 1 відображає просторовий розподіл лікарських речовин в жировій тканині свині. Рисунок 2 демонструє аналогічний процес в черв'ячній тканині.

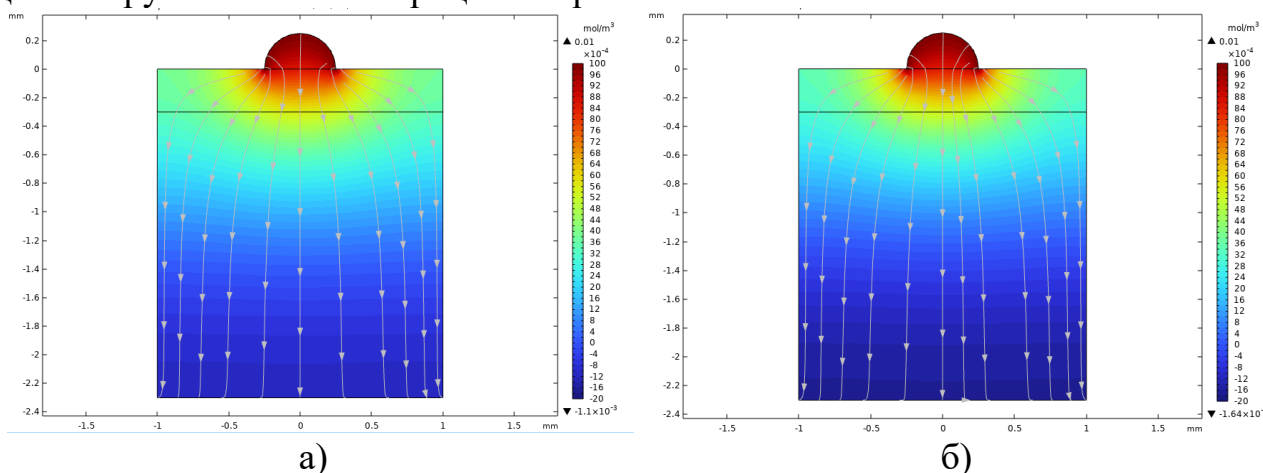


Рисунок 1. Моделювання процесу проникнення а) йоду, б) діамантового зеленого у жирову тканину свині за 15 хв під дією магнітного поля (магнітна індукція 25 мТл)

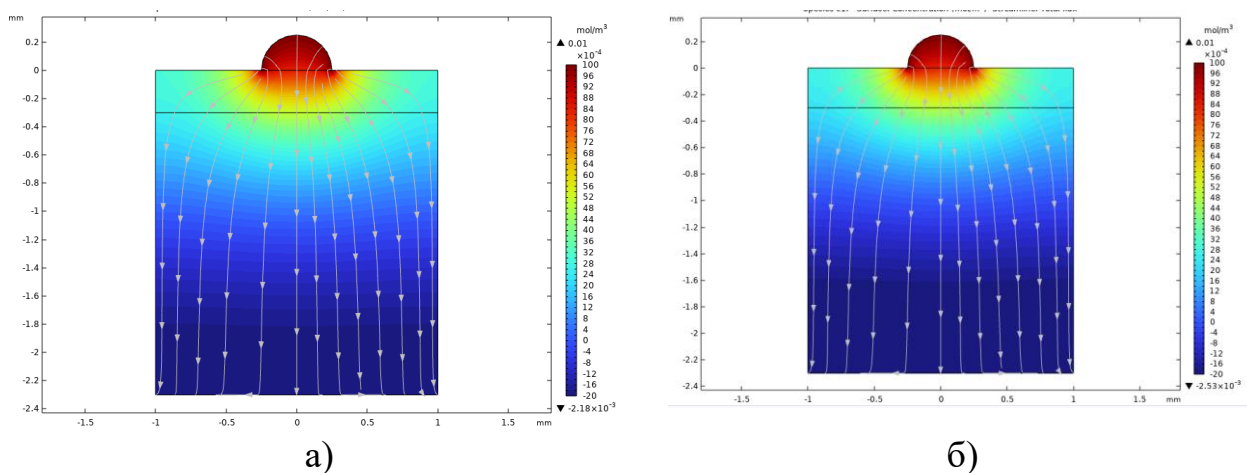


Рисунок 2. Моделювання процесу проникнення а) йоду, б) діамантового зеленого у черв'ячній тканині за 15 хв під дією магнітного поля (магнітна індукція 25 мТл)

За допомогою ПЗ Comsol Multiphysics було визначено середнє значення глибини проникнення ЛР у біологічний зразок під дією змінного синусоїдального МП з магнітною індукцією 25 мТл : для йоду в жирову тканину свині  $l_{ims} = 1,924$  мм, для діамантового зеленого в жирову тканину свині  $l_{zms} = 1,868$  мм, для йоду в черв'яка  $l_{imh} = 1,786$  мм, для діамантового зеленого в черв'яка  $l_{zmh} = 1,674$  мм

Для порівняння з процесом звичайної дифузії однієї речовини в БТ, було проведено подібне моделювання, але без впливу параметрів МП. Результати моделювання представлено на рисунку 3 та 4.

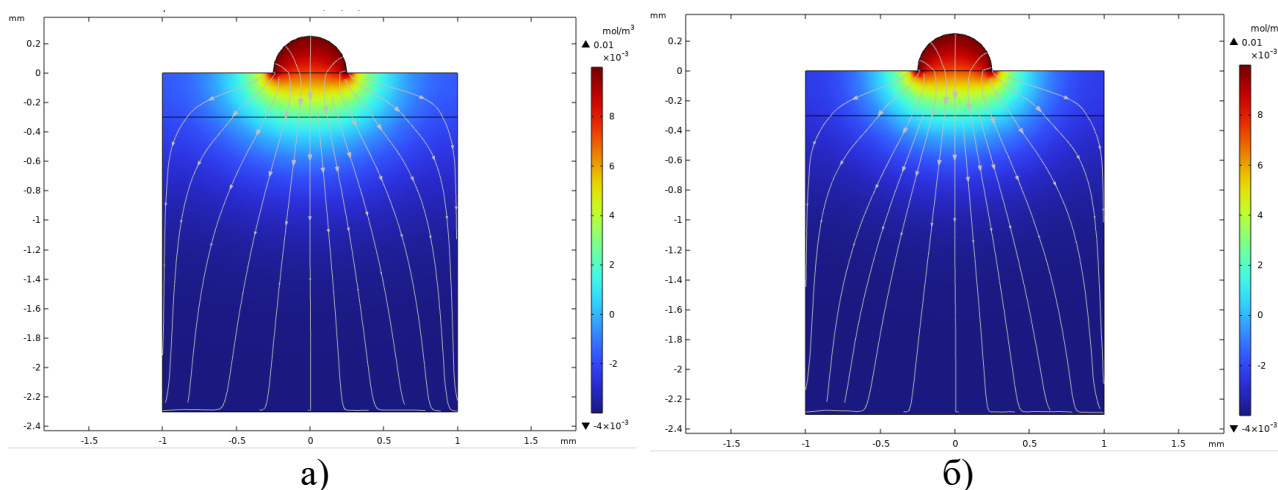


Рисунок 3. Моделювання процесу проникнення а) йоду, б) діамантового зеленого при звичайній дифузії у жирову тканину свині за 15 хв

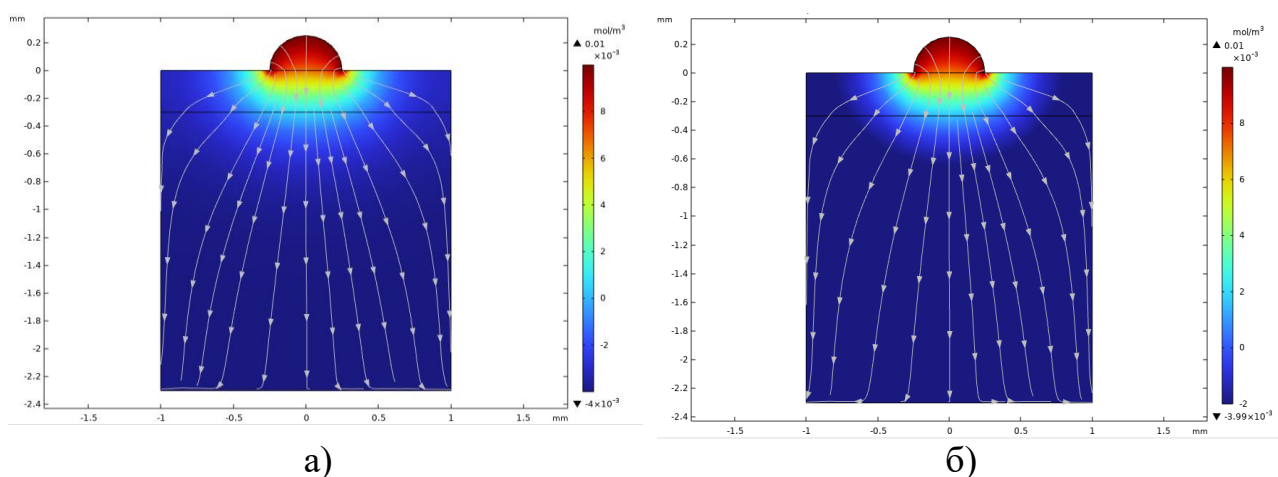


Рисунок 4. Моделювання процесу проникнення а) йоду, б) діамантового зеленого при звичайній дифузії у черв'ячну тканину за 15 хв

За допомогою системи ПЗ Comsol Multiphysics було визначено середнє значення глибин проникнення ЛР у біологічний зразок під дією МП: для йоду в жирову тканину свині  $l_{ims} = 1,924$  мм, для діамантового зеленого в жирову тканину свині  $l_{zms} = 1,868$  мм, для йоду в тканину черв'яка  $l_{imh} = 1,786$  мм, для діамантового зеленого в тканини черв'яка  $l_{zmh} = 1,674$  мм та при звичайній дифузії, без впливу магнітного поля: для йоду в жирову тканину свині  $l_{is} = 0,464$  мм, для діамантового зеленого в жирову тканину свині  $l_{zs} = 0,422$  мм, для йоду в черв'яка  $l_{ih} = 0,4102$  мм, для діамантового зеленого в черв'яка  $l_{zh} = 0,382$  мм.

Таким чином значення середньої різниці глибин проникнення під дією магнітного поля (магнітна індукція 25 мТл) та без дії МП склали для йоду в жирову тканину свині  $\Delta l_{is} = 1,46$  мм, для діамантового зеленого в жирову тканину свині  $\Delta l_{zs} = 1,446$  мм, а для йоду в черв'яку  $\Delta l_{ih} = 1,3758$  мм, для діамантового зеленого в черв'яку  $\Delta l_{zh} = 1,242$  мм.

Так було виявлено, що магнітне поле (магнітна індукція 25 мТл) суттєво збільшує глибину проникнення лікарських речовин у біологічний зразок, при цьому параметри глибини проникнення в жирову тканину свині йоду  $l_{ims}$  та діамантового зеленого  $l_{zms}$  для м'яких тканин значно перевищують аналогічні

значення глибин проникнення для живих тканин черв'яка йоду  $I_{IS}$  та діамантового зеленого  $I_{ZS}$  без впливу магнітного поля. Також виявлено, що для тканин з підвищеною жорсткістю спостерігається схоже збільшення глибини проникнення ( $I_{imh}$  та  $I_{zmh}$ ) за умов впливу магнітного поля з магнітною індукцією в десятки мТл.

## ВИСНОВКИ

Отже були проведені системні видбори ПЗ моделювання, де можливості і параметри ПЗ Comsol Multiphysics суттєво перевищувала аналоги. Були змодельовані та представлені картини моделювання, що демонструють просторовий розподіл лікарських речовин у жировій тканині свині та черв'ячній тканині. Встановлено, що магнітне поле з індукцією в 15 мТл впливає на параметри глибини проникнення лікарських речовин у м'які та жорсткі біологічні тканини. Це вказує на потенційні переваги використання систем автоматизованої магнітної терапії для точного і дозованого введення лікарських речовин у біологічні тканинах.

Загалом, дослідження може служити основою для подальших наукових розробок з точним моделювання значень глибин проникнення лікарських речовин у біологічні тканинах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Tereshchenko, M., Tymchik, G. (2024). Automated Devices and Methods for Reproducing an Alternating Magnetic Field. In: Bezuglyi, M., Bouraou, N., Mykytenko, V., Tymchik, G., Zaporozhets, A. (eds) Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control, vol 511. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-44347-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-44347-3_7)
- [2] Parhi R, Suresh P, Patnaik S. Physical means of stratum corneum barrier manipulation to enhance transdermal drug delivery. *Curr Drug Deliv*. 2014
- [3] М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, В. Ю. Рудик, М. В. Чухраєв, Т. О. Рудик, Автоматизовані магнітотерапевтичні апарати: монографія, Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка, 2020, с. 95-103.
- [4] Smith NB. Perspectives on transdermal ultrasound mediated drug delivery. *International Journal of Nanomedicine*. 2007; 4 (V.2): 585–594.
- [5] G. S. Tymchik, M. F. Tereshchenko, S. O. Soroka, and M. M. Tereshchenko, "Control over influence of the magnetic field parameters on a biological object", in XIII International PhD Workshop. OWD 2011, Poland: Wisla, 2011, pp. 295-299.
- [6] J. Kost, S. Mitragotri, R. Gabbay, M. Pishko, and L. R. Transdermal extraction of glucose and other analytes using ultrasound.. *Nat. Med.*, 6:347-350, 2000.
- [7] S. Mitragotri, M. Coleman, J. Kost, and R. Langer. Analysis of ultrasonically extracted interstitial fluid as a predictor of blood glucose values. *J. Appl. Physiol.*, 89:961-966, 2000.

*Наук. керівник – доц. Терещенко М.Ф.*

УДК 535.3:535.7

*О.В. Ромодан, студентка гр. ПБ-321мп, к.т.н., доц. Безугла Н.В.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ГОНІОМЕТРИЧНОГО ТИПУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ**

*Анотація.* В даній роботі запропоновано програмно-апаратну реалізацію інформаційно-вимірювальної системи гоніометричного типу для визначення показника заломлення. Обґрунтовано вибір елементної бази експериментальної установки. Розроблено програмне забезпечення для обробки експериментальних даних зі зручним інтерфейсом.

**Ключові слова:** показник заломлення, повне внутрішнє відбиття, еліпсоїдальний рефлектор, обробка зображень, біологічна тканина.

### **ВСТУП**

Взаємодія випромінювання з біологічними середовищами пов'язана з процесами поглинання, розсіювання, заломлення або відбивання. Одним з оптичних параметрів, який визначає цей процес є показник заломлення ( $n$ ). Він характеризує відмінність фазових швидкостей світла в двох середовищах та оптичну щільність одного середовища відносно іншого [1].

Методи вимірювання показника заломлення можна класифікувати на основі фізичних явищ, що лежать в основі техніки визначення, або оптичних приладів, які з нею використовуються [2]. Репрезентативні фізичні явища для класифікації цих методів охоплюють інтерференцію, повне внутрішнє відбиття (ПВВ), заломлення, відбивання, пропускання тощо [3]. Найбільш точними вважаються методи, що базуються на явищі ПВВ. Однак, вони мають один недолік – інвазивність.

Метою даної роботи є розробка програмного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи гоніометричного типу для неінвазивного визначення показника заломлення.

### **ПРИНЦИП РОБОТИ ГОНІОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ**

Гоніометричний метод дослідження є універсальним, простим та точним підходом для визначення показника заломлення на основі методу ПВВ. Елементами гоніометричної системи є джерело світла, оптичний елемент та приймач. Розглянемо коротко принцип роботи системи гоніометричного типу для визначення  $n$  з еліпсоїдальним оптичним елементом, переваги якого описано авторами [4, 5]. Лазерне джерело (ЛГН-208А) світла переміщується по твірній еліпса за допомогою системи переміщення. Світловий промінь, потрапляючи у вхідну щілину, направляється в центр нижньої фокальної площини. Завдяки конструктивним особливостям обраного оптичного елементу, випромінення переноситься з нижньої частини скляного еліпсоїду у верхню та за допомогою оптичної системи реєструється фотодетектором (ПЗС-камера DMK 21AF04.AS). Отриманий відеопотік потрапляє на блок обробки. Основною метою блоку обробки є визначення максимальної інтенсивності кадрів відео, що свідчить про досягнення кута ПВВ. Оскільки, система переміщення пов'язана з блоком обробки зворотнім зв'язком, то при досягненні максимальної інтенсивності

переміщення лазерного джерела припиняється та розраховується показник заломлення.

## РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Програмне забезпечення (ПЗ) розроблено на базі мови програмування Python з відповідними бібліотеками (PyQt5, matplotlib, pandas, opencv, datetime, os, sys). Інтерфейс розроблено за допомогою Qt Designer. Основні етапи роботи ПЗ: розділення відео на окремі зображення; обробка зображень; визначення зображення з максимальною інтенсивністю; визначення значення  $n$ ; визначення координат модуля випромінювання; збереження результатів; побудова графіку за обраними параметрами. Вхідні параметри: відео та файл з розрахованими значеннями показника заломлення відповідно до параметрів оптичного елемента.

Інтерфейс розробленого програмного забезпечення складається з двох вкладок. Перша вкладка призначена для завантаження та розрахунку (рис. 1 а), друга – для побудови графіків (рис. 1 б).

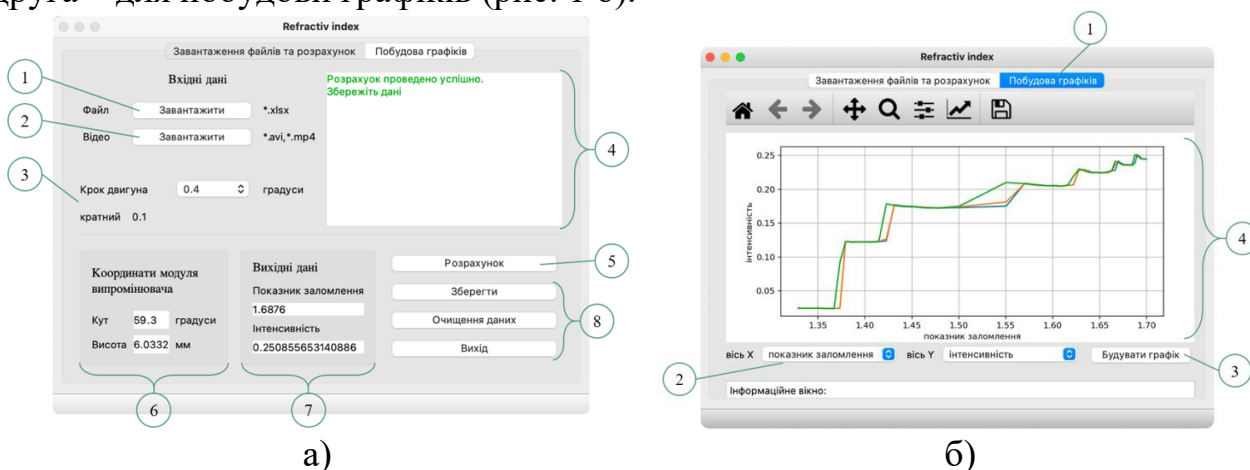


Рисунок 1. Інтерфейс програмного забезпечення для визначення показника заломлення:  
а – вкладка завантаження та розрахунку, б – вкладка побудови графіків

Розглянемо функціонал першої вкладки.

- 1) Кнопка завантаження вхідних даних ( $n$  – показник заломлення біологічного середовища,  $\varepsilon_1$  – кут падіння світлового променя,  $h$  – висота на бічній грані еліпсоїда) у формі таблиці формату \*.xlsx;
- 2) Кнопка завантаження відео з камери приймача у форматі \*.avi або \*.mp4;
- 3) Випадаючий список для вибору необхідного кроку (0,35; 0,4; 0,45; 0,9 або 1) крокового двигуна;
- 4) Інформаційне вікно для відображення інформації про роботу програми: завантаження файлів, успішність проведення розрахунку, збереження результатів, тощо;
- 5) Кнопка «Розрахунок» – при успішному завантаженні та виборі вхідних даних здійснюється визначення вихідних параметрів за максимальною інтенсивністю зображень;
- 6) У секції «Координати модуля випромінювача» відображається критичний кут ПВВ та значення висоти;
- 7) У секції «Вихідні дані» отримано значення показника заломлення

- біологічного середовища, та відповідне значення інтенсивності зображення;
- 8) Кнопки збереження, очищення даних та вихід. Дані зберігаються у вигляді таблиці у файлі формату \*.xlsx, у папці refractive/data.

Розглянемо функціонал другої вкладки.

- 1) Вкладка «Побудова графіків»;
- 2) Вибір параметрів для побудови графіків з випадючих вкладок (показник заломлення, висота, інтенсивність або кут падіння) для осі X та Y;
- 3) Кнопка «Будувати графік»;
- 4) Поле для відображення графіку.

При некоректному виборі даних у полі «Інформаційне вікно» виводиться інформація про помилку. Отримані графіки при необхідності зберігаються в обраному форматі.

## ВИСНОВКИ

В рамках цієї роботи були підібрані основні елементи для розробки інноваційно-вимірювальної системи гоніометричного типу з еліпсоїдальним рефлектором для вимірювання показника заломлення, описано принцип роботи системи. Розглянуто особливості та переваги застосування еліпсоїдального рефлектора. Розроблено програмне забезпечення зі зручним інтерфейсом для швидкої обробки експериментальних результатів. Завдяки цьому, можливо зафіксувати явище повного внутрішнього відбиття при дослідженні біологічних середовищ та визначити відповідні значення інтенсивності, показника заломлення, кута падіння променя та висоти.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] P. Sun, & H. Sun, "Determination of the anisotropy complex refractive indices of chicken tissues in vitro at 650 nm", Journal of the European Optical Society-Rapid publications, 5, 2010.
- [2] R. Khan, B. Gul, S. Khan, H. Nisar, & I. Ahmad. "Refractive index of biological tissues: Review, measurement techniques, and applications", Photodiagnosis and Photodynamic Therapy, 33, 102192, 2021.
- [3] The Editors of Encyclopaedia Britannica, "Total internal reflection", Encyclopaedia Britannica, 2023, <https://www.britannica.com/science/total-internal-reflection>.
- [4] M. Bezuglyi, "Ellipsoidal Reflectors for Biological Media Light Scattering Photometry", in Advanced System Development Technologies I, Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 119-154.
- [5] Патент 124063 С2 UA, МПК G01N 21/43 (2006.01) G01N 21/47 (2006.01) Пристрій для вимірювання показника заломлення біологічних середовищ / Маляренко Д. Ю., Безугла Н. В., Безуглий М. О.; заявник Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського". — № а 201812424; заявл. 14.12.2018; опубл. 14.07.2021, Бюл. № 28, 2021 р.

*Наук. керівник – к.т.н., доц. Безугла Н. В.*



УДК 004.89

О.В. Сердюк, аспірантка гр.ПБ-331ф, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ РЕНТГЕНОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОРГАНІВ ГРУДНОЇ КЛІТИНИ

**Анотація.** В роботі розглядається передумови створення автоматизованої системи аналізу рентгенографічних зображень на базі застосування нейронних мереж та машинного зору, з метою підвищення достовірності діагностики захворювань легень. Виконано аналіз основних патологій органів грудної клітини та з'ясовані основні критерії аналізу рентгенограм. Запропоновано блок-схему програмного аналізу патологій грудної клітини.

**Ключові слова:** нейронні мережі, рентгенографічні зображення, аналіз зображення, систематизація.

### ВСТУП

Швидкі темпи розвитку комп'ютерних технологій обробки цифрових зображень зарекомендували себе, як невід'ємна частина медичної сфери та значно покращили якість зображень, диференціацію окремих органів та оптимізацію інтерпретації медичних діагнозів.

Рентгенографія органів грудної клітки - це стандартний і швидкий спосіб діагностики в радіології, аналізу та дослідження різних захворювань органів грудної клітки [1]. Застосування комп'ютерних технологій для обробки цифрових зображень вже стало невід'ємним інструментом скорочення часу аналізу отриманих рентгенологами. Штучний інтелект також може служити потенційним «читачем» та посприяти значному пришвидшенню інтерпретації отриманих результатів. Серед найбільш розповсюджених захворювань органів грудної клітки виділяють наступні: пневмонію, специфічні процеси, хронічні обструктивні захворювання, професійні захворювання легень, травму грудної клітки, плеврити рис. 1. [2]

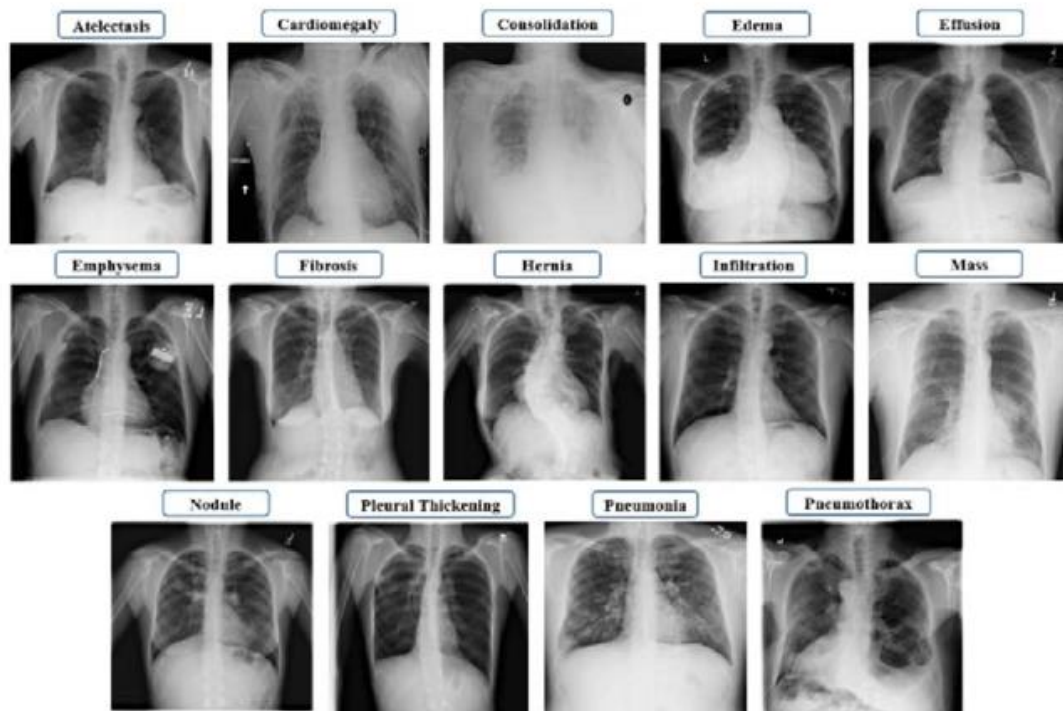


Рисунок.1 Поширені захворювання легень

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Дані рентгенограми несуть в собі цінну інформацію про основні критерії здоров'я пацієнта. Інтерпретація отриманих результатів є важливою частиною призначення ефективного лікування клінічними спеціалістами. Підвищення продуктивності процесу аналізу зображень є важливим завданням для вирішення якого зараз широкого застосування набули нейронні мережі. На основі закономірностей появи помилок аналізу, що виникають в процесі інтерпретації можна заздалегідь врахувати їх у керуючій програмі шляхом зміни налаштувань основних критеріїв аналізу, що є додатковим фактором підвищення точності отриманих даних.

Процес аналізу патології грудної клітини базується на основі наступних ключових елементів рис.2 :

1. Отримання якісного зображення та коригування
2. Окреслення ключових елементів
3. Порівняння поточного зображення з оптимальним
- 4.Отримання патологічних відхилень
5. Вторинний аналіз
6. Поділ відхилень на окремі групи та сортування елементів відхилень по групах для виявлення збігу ключових патологій
7. Аналіз отриманої групи відхилень.
8. Винесення аналітичного висновку.

Для коректної роботи автоматизованої системи першочергове завдання полягає в навчанні системи верифікації нормальних параметрів від патологічних. Нормальні параметри базуються на: розпізнанні кісток, форми грудної клітки, міжреберних проміжків, коренів легень, синусів, склепінь діафрагми, тіні серця, легеневого малюнку, вісі хребта.



Рисунок 2. Блок схема роботи провідної програми

## **БАЗУВАННЯ ПРИНЦИПУ АНАЛІЗУ:**

В основі принципу оцінювання є база з чітко окресленими заданими параметрами зображення. До програми на обробку надходять рентгенограми органів грудної клітки, що потребують аналізу. Відбувається поетапна оцінка зображень та сортування отриманих результатів на 2 групи: норми (N) та патології (P). Для унеможливлення хибного сортування зображення для групи (N) відбувається повторний аналіз. Після отриманих та чітко окреслених результатів відбувається поглиблене вивчення групи (P), щодо можливих нозологій захворювань.

На основі проведеного програмного аналізу рентгенологічних зображень, і зважаючи на те, що система повинна аналізувати патологічні процеси за умов багатьох критеріїв [3], можна сформулювати основні вимоги до системи:

1. Процес різання представляє собою багатокомпонентний аналіз не постійних характеристик за заданими параметрами.
2. Система повинна відрізнятися динамічним темпом аналізу.
3. Система аналізу зображення повинна бути чітко налаштованою, щоб аналізувати розходження заданих параметрів, але в той же час гнучкою, де можливе розходження отриманих результатів.

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином, використання аналітичної системи аналізу рентгенографічних зображень органів грудної клітки зменшує час інтерпретації та підвищує ефективність роботи медичної установи.

В перспективі подальших досліджень планується розробка інтелектуальної експертної системи аналізу рентгенографічних зображень на базі застосування нейронних мереж та машинного зору, з метою підвищення достовірності діагностики захворювань легень.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] J Clin Med. 2022 Dec 30;12(1):303. doi: 10.3390/jcm12010303
- [2] Lancet Digit Health. 2020 Nov;2(11):e573-e581. doi: 10.1016/S2589-7500(20)30221-1. Epub 2020 Oct 19.
- [3] Singh R., Kalra M.K., Nitiwarangkul C., Patti J.A., Homayounieh F., Padole A., Rao P., Putha P., Muse V.V., Sharma A., et al. Deep learning in chest radiography: Detection of findings and presence of change. PLoS ONE. 2018;13:e0204155. doi: 10.1371/journal.pone.0204155.

*Наук. керівник – д.т.н., доц. Стельмах Н.В.*

УДК 615.47

*В.С. Слєпчук, студентка гр. ПБ-02*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ЛАЗЕРНИЙ АВТОМАТИЗОВАНИЙ ТЕРАПЕВТИЧНИЙ АПАРАТ**

**Анотація.** Поява лазерної технології привела до значного прогресу в фізіотерапії, сприяючи розробці новітніх та досконалих зразків лазерних автоматизованих терапевтичних та хірургічних апаратів, систем та пристроїв. У даній роботі досліджено трансформаційного потенціалу, технологічних тонкощів і клінічних наслідків, вкладених у ці інноваційні медичні інструменти.

**Ключові слова:** автоматизований терапевтичний апарат, фізіотерапія, лазерне випромінювання, біологічна тканина.

### **ВСТУП**

Основні функціональні можливості лазерних автоматизованих терапевтичних пристроїв ретельно вивчаються, охоплюючи їх різноманітні застосування в різних медичних спеціальностях. Розгортаються дискусії щодо адаптивності пристрою до хірургічних процедур, точної абляції тканин, цільових систем доставки ліків і прогресу в неінвазивних методах лікування, окреслюючи трансформаційний вплив на догляд за пацієнтами та клінічну практику [1].

Спираючись на тематичні дослідження, можна помітити зростаючий потенціал лазерних автоматизованих терапевтичних пристроїв у революції в наданні медичної допомоги. Це підкреслює необхідність продовження досліджень, технологічного вдосконалення та міждисциплінарної співпраці для використання повного спектру переваг, які пропонують ці передові медичні інструменти [2].

### **АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЛАЗЕРНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ МЕДИЧНИХ ПРИСТРОЇВ**

Сучасні лазерні автоматизовані медичні пристрої застосовуються в різних галузях медицини, включаючи дерматологію та онкологію. Вони дозволяють оптимізувати та структурувати процедури лікування, роблячи їх більш доступними, ефективними та неінвазивними.

Одним із основних застосувань є мінімально інвазивна хірургія, де лазерний автоматизований терапевтичний апарат дозволяє лікарям проводити точні процедури з мінімальним пошкодженням тканин. Ці системи полегшують складні операції, такі як офтальмологічні операції для корекції зору або дерматологічні процедури для шкірних захворювань, підвищуючи точність і скорочуючи час відновлення [3].

Крім того, ці пристрої знаходять популярність у цілеспрямованій абляції та модифікації тканин. Використовуючи точність лазерної технології, практикуючі лікарі можуть точно націлити та лікувати конкретні тканини або пухлини, пропонуючи більш адаптований та ефективний терапевтичний підхід, особливо в онкології та лікуванні раку [4].

Іншим важливим аспектом є розробка неінвазивних методів лікування з використанням лазерних автоматизованих терапевтичних апаратів. Від нехірургічного омолодження шкіри та видалення волосся до інноваційних методів лікування болю та загоєння ран, ці пристрої пропонують безпечні та ефективні альтернативи звичайним методам лікування, зводячи до мінімуму дискомфорт пацієнта та періоди відновлення [5].

Впровадження сучасного лазерного автоматизованого терапевтичного апарату віщує нову еру в охороні здоров'я, роблячи революцію методології лікування та догляду за пацієнтами. Безперервні дослідження, технологічні інновації та спільні зусилля сприятимуть подальшому використанню трансформаційного потенціалу цих пристроїв, сприяючи еволюції терапевтичних модальностей у бік точної, орієнтованої на пацієнта медичної допомоги [6].

### ЛАЗЕРНИЙ АВТОМАТИЗОВАНИЙ ТЕРАПЕВТИЧНИЙ АПАРАТ.

На рис. 1. показана структурно-функціональна схема лазерного автоматизованого терапевтичного апарату (ЛАТА) з двома джерелами лазерного випромінювання.

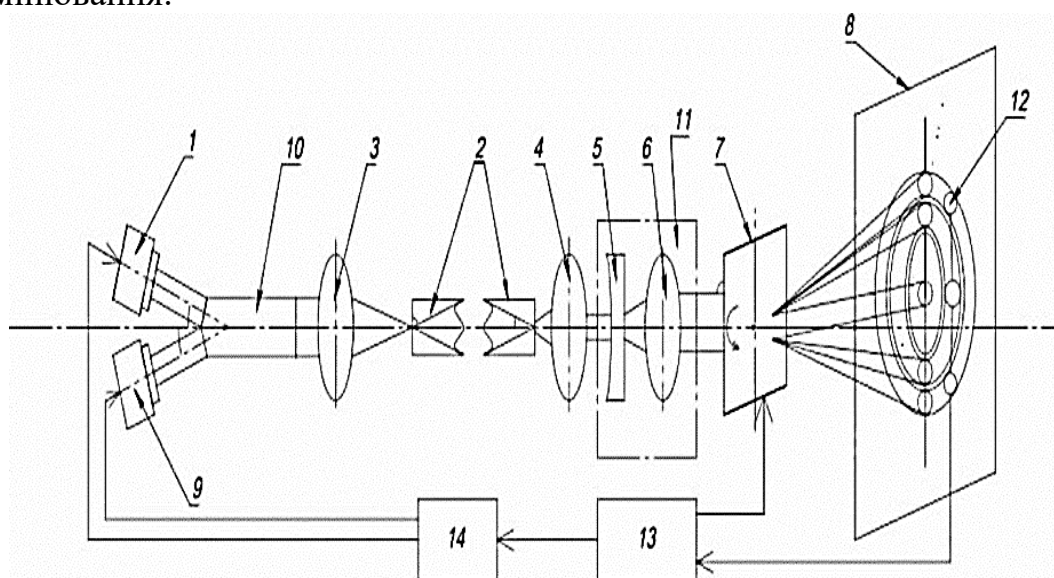


Рис. 1. Структура лазерного автоматизованого терапевтичного апарату

Лазерний автоматизований терапевтичний апарат включає джерело лазерного (когерентного) випромінювання, що виконаний у вигляді лазерного джерела 1, і волоконно-оптичного світловода 2. Світловод 2 є складовою волоконно-оптичного об'єднувача 10. Між вихідним торцем волоконно-оптичного об'єднувача 10 і вхідним торцем світловода 2 встановлений перший об'єктив 3. Відстань від першого об'єктива 3 до вхідного торця світловода 2 вибрана менше ніж довжина його фокусної відстані. За вихідним торцем світловода 2 встановлений другий об'єктив 4 з можливістю узгодження апертури другого об'єктива з апертурою пучка, що виходить зі світловоду. Далі послідовно після другого об'єктива 4 встановлений коліматор 11, що включає розсіювальну лінзу 5 та об'єктив 6, який формує пучок паралельних світлових променів. В цьому колімованому пучку встановлений дифракційний елемент 7, дифрагмовані пучки випромінювання якого виконують роль джерел опромінення біологічних (вражених) тканин. Дифракційний елемент 7 виконаний з можливістю його установки під кутом  $\alpha$  до оптичної осі системи та має можливість обертання навколо неї. На поверхні опромінення біологічної тканини 8 вказані розрізи світлових пучків, що представляють собою зону опромінення у відповідних порядках дифрагмованих пучків: 0; +1; -1; +2; -2 і так далі. Вказані зони опромінення відповідають інтенсивності дифрагмованих пучків  $I_0, I_{+1}, I_{+2}$ , кожна з яких визначається деякою частиною від загальної інтенсивності потоку

випромінювання  $I_n$ . При використанні для терапевтичних цілей лазерного випромінювання з декількома довжинами хвиль передбачене застосування додаткових лазерів (джерел лазерного випромінювання) 9, для цього в апараті між лазером 1 і першим об'єктивом 3 встановлений волоконно-оптичний об'єднувач 10. Волоконно-оптичний об'єднувач 10 дозволяє вводити лазерне випромінювання від лазерів з іншими довжинами хвиль та проводити опромінення випромінюванням, що включає декілька довжин хвиль. В зоні опромінення 8 біологічної тканини розміщені температурні датчики 12, які під'єднанні до блоку керування 13, а він підключений до блоку живлення джерел лазерного випромінювання (БЖДЛВ) 14. Виходи БЖДЛВ 14 з'єднані з лазерним джерелом 1 та додатковим лазером 9. Блок керування 13 під'єднаний і до дифракційного елементу 7.

## ВИСНОВОК

Загалом, метою створення лазерних автоматизованих терапевтичних пристроїв є трансформація парадигм охорони здоров'я шляхом впровадження передових технологій, які пропонують точні, ефективні та орієнтовані на пацієнта терапевтичні рішення для широкого спектру захворювань.

Нами запропоноване нове технічне вирішення в структурі ЛАТА. Це дозволило суттєво підвищити точність, однорідність та рівномірність опромінення заданої зони впливу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Дастжерді А.Х.М., Скицюк В.І., Ключко Т.Р., Голопура С.І. Стимуляція регенерації біологічних структур випромінюванням фізіотерапевтичних приладів серії «ПРОМІНЬ», // Фотобіологія та фотомедицина. - 2010. - № 3(4). – С. 102-105.
- [2] Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С., Ляшенко О.Г., Гнатейко О.С. Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси в біологічних тканинах, *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування.* – 2015. – №49. – С. 153–158
- [3] A. J. Welch, J. C. Martin, “Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue”, *Physics and Astronomy, (R0)*, pp.958, 2016. DOI: 10.1007/978-90-481-8831-4
- [4] Матвієнко С.М., Тимчик Г.С., Терещенко М.Ф., Матвієнко А.М. Вплив процесів конвекції в рідині на похибку вимірювання теплопровідності методом прямого підігріву термістора, *Наукові вісті НТУУ —КПІ.* – 2017. – № 4. – С. 121–130.
- [5] IS/IEC 60793-1-43: Optical Fibres, Part 1: Measurement Methods and Test Procedures, Section 43: Numerical Aperture, 2001.
- [6] G.S. Tymchik, M.F. Tereshchenko, S.O. Soroka, and M.M. Tereshchenko, “Control over influence of the magnetic field parameters on a biological object”, in XIII Internat. PhD Workshop. OWD 2011, Poland: Wisla, 2011, pp. 295-299.
- [7] Yanenko, O. P. Metrologiya medichnoyi ta biologichnoyi aparaturi. [Metrologiya medichnoyi ta biologichnoyi Aparatura: Navchalny posibnik], Zhytomyr: ZhNHI, 1998. 158 p.

*Науковий керівник - к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.*

УДК 57.087:004.032.26

В.В. Терещенко, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н, доц. Вонсевич К.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ МІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ

**Анотація.** У роботі розглянуто особливості розроблення і застосування автоматизованого модулю для спектрального аналізу міографічних сигналів руки, для покращення біокерування біонічними протезами верхніх кінцівок. Зокрема, розглянуто основні методи вимірювання міографічного сигналу та розрахунку його значущих характеристик, розроблено алгоритм та програмне рішення на основі мови Python для автоматизованого розрахунку спектральних параметрів міо-сигналу та подальшої класифікації рухів руки на основі визначених характеристик.

**Ключові слова:** міографія, спектральний аналіз, біонічне протезування, машинне навчання, штучні нейронні мережі.

### ВСТУП

На тлі стрімкого розвитку сфери біонічного протезування, що визначає новий етап у відновленні функціональності частково-втрачених кінцівок людини, виникає важливе завдання точного аналізу та ефективної класифікації сигналів біокерування від тіла людини. Сигнали, які виникають під час м'язової активності вцілілої частини руки пацієнта зазвичай і виступають ключовим елементом системи керування біонічної кінцівки. Залежно від виду датчика та способу його взаємодії з м'язами, початкова форма і характеристики міосигналу можуть відрізнятися. Наприклад, це може бути фактична зміна опору, напруги, чи інших параметрів розподілених за часом, які можна виразити чисельно [1]. Однак, незалежно від фактичного виду сенсору, який застосовується для вимірювання рівня активності м'язів, важливим для фінальної ефективності системи керування протезу та його практичного застосування пацієнтом є розпізнавання вимірянних сигналів, відповідно до набору рухів руки, які повинні бути відтворені штучною кінцівкою. Саме тому, розроблення автоматизованого модуля для аналізу міографічних сигналів, який дозволить підвищити достовірність класифікації функціональних рухів тіла пацієнта є актуальним завданням у сфері біонічного протезування.

### МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ МІОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ

Вимірювання міографічних сигналів може здійснюватись за допомогою декількох методів. Однак, найбільш поширеними та перспективними з них є метод електроміографії та форс-міографічні дослідження. Принцип методу електроміографії (EMG) полягає у реєстрації біосигналу, який отримується внаслідок підсилення мікро-електричного імпульсу, що формується при скороченні м'язу та передачі інформації між нервовими клітинами і м'язовими волокнами. Водночас, залежно від конкретного виду сенсорів для EMG, розрізняють поверхневу (яка проводиться із застосуванням нашкірних електродів) та інвазивну електроміографію (вимірювання сигналу здійснюється за допомогою електроду реалізованого у вигляді голки, яка розміщується безпосередньо у тілі м'язу [2]).

Форс-міографія – це метод який використовує FSR (force-sensitive resistor) датчики, з метою моніторингу розподілення механічного тиску м'язів на вимірювальну поверхню сенсору, пропорційно до виду виконуваного руху та активності відповідної групи м'язів. При зміні тиску на поверхню FSR датчика, змінюється і його опір, за допомогою чого можна визначити фактичний рівень тиску на поверхню сенсору і використати цю інформацію для отримання відповідної форми та характеристик міо-сигналу [3].

Окрім власне вимірювання певного виду міографічного сигналу, важливим є і етап його подальшої обробки та визначення набору параметрів, які можуть бути використані, як інформація для подальшої класифікації сигналу. У сфері протезування кінцівок, для розрахунку використовуються такі категорії характеристик, як: часові, спектральні та частотно-часові [1,2]. Водночас, особливістю спектральних характеристик є їх складність у розрахунках та необхідність використання складних математичних операцій, таких як виділення спектру потужності сигналу, визначення частотних коефіцієнтів, медіани частоти та середнього значення [4]. Головними перевагами спектральних характеристик є те, що для класифікації сигналу можна використати розподіл параметру по декільком частотам що позитивно впливає на подальшу точність класифікації.

Автоматизована класифікація спектральних характеристик може здійснюватись на основі одного з методів машинного навчання, наприклад таких як: метод опорних векторів, штучні нейронні мережі та метод випадкових лісів [1]. Метод опорних векторів (SVM): використовує гіперплощину початкових вхідних параметрів міосигналу для відокремлення набору класів (до яких вони потенційно можуть належати) у просторі та забезпечення подальшого розпізнавання нової вхідної інформації. В той же час, метод штучних нейронних мереж імітує структуру нейронних зв'язків мозку людини, використовуючи їх математичні відповідники з шарами нейронів і синапсів для розрахунку проміжних прихованих залежностей між вхідними даними та їх подальшої прив'язки до відповідних класів. Метод випадкових лісів: об'єднує кілька можливих гілок чи дерев рішень, кожне з яких навчається на випадковій підмножині даних і вирішує класифікаційні завдання за допомогою внутрішнього голосування або середнього значення прогнозів кожного із дерев рішень (внутрішніх класифікаційних алгоритмів).

Оцінювання ефективності класифікації зазвичай проводиться за допомогою методу ROC-кривої або розрахунку матриці похибок, що показує отриману залежність розрахованих нейронною мережею класів від реального набору, який повинен бути визначений. При цьому, для чисельного оцінювання матриці розраховуються спеціальні параметри F-score, Recall або Precision, що дозволяють відобразити таку залежність у відсотковому еквіваленті.

## **РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДУЛЮ ТА ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ**

На рисунку 1 представлено узагальнену схему розробленого модулю спектрального аналізу міографічних сигналів. Як видно з рисунку, до складу



модуля входять сенсори для реєстрації міо-сигналу, схема фільтрування сигналу, аналого-цифровий перетворювач, блок передачі інформації та ПК з розробленим програмним рішенням. При застосуванні даного модуля у складі протезної системи, для відтворення руху додатково використовується мікроконтролер і власне виконавчі механізми протезу.

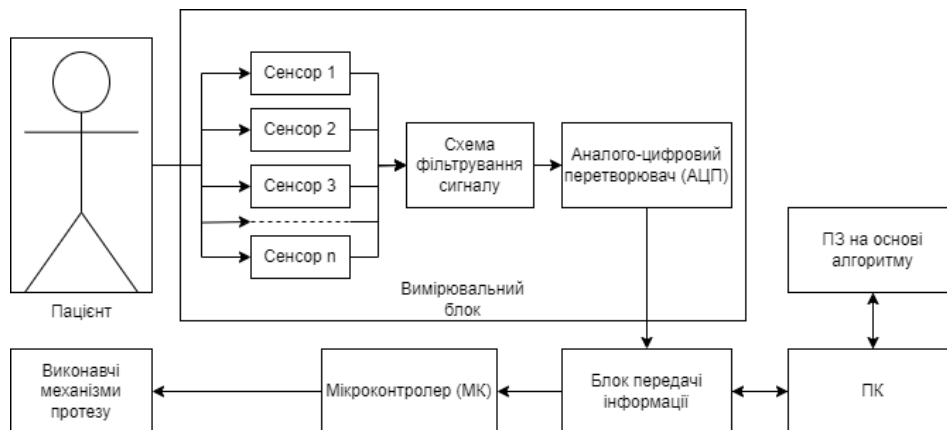


Рисунок 1. Узагальнена схема роботи автоматизованого модулю

Варто зазначити, що вимірювальний блок у представленій схемі не обмежується лише реєстрацією електричного сигналу (як реакції на скорочення м'язів, при виконанні певного руху руху), а може використовувати й інші види сигналів м'язів, залежно від обраного базового методу. У проведених дослідженнях тестування розробленого модулю проводилось на основі електроміограм, що вимірювались при згинанні/розгинанні чотирьох пальців долоні (від II по IV), а вимірювальні сенсори при цьому розташовувались у зоні м'язів передпліччя.

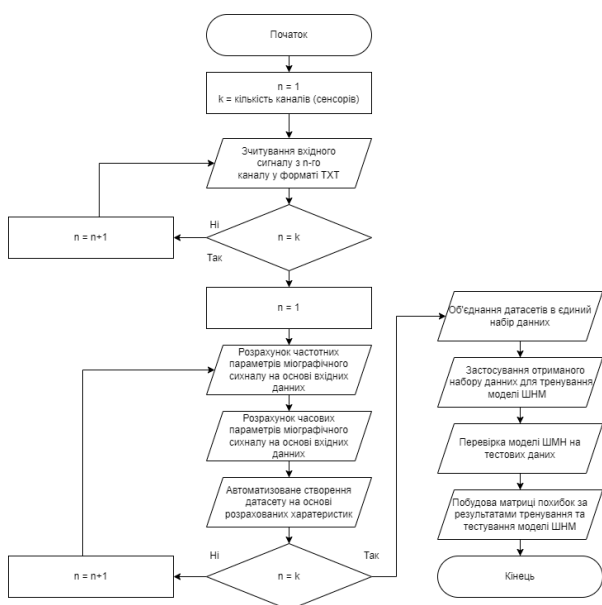


Рисунок 2. Блок схема алгоритму

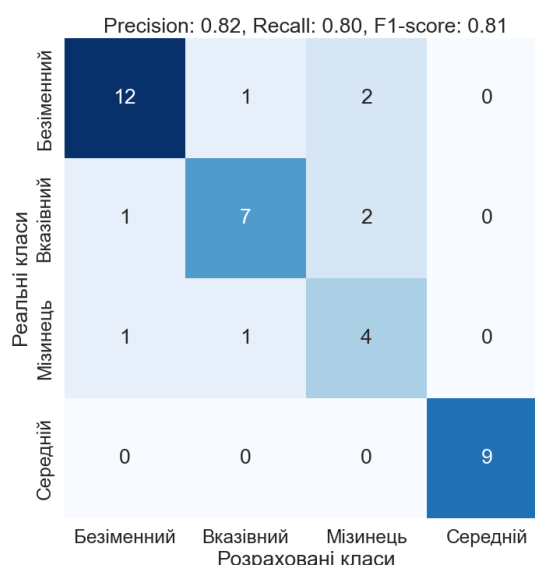


Рисунок 3. Матриця похибок

Розроблене для автоматизованого модулю власне програмне рішення, здійснює розрахунок набору часових і частотних характеристик на основі зміни амплітуди міографічного сигналу та виконує подальше тренування, тестування і

класифікацію за допомогою моделі ШНМ. При цьому, структуру натренованої ШНМ можна безпосередньо інтегрувати і до програмного коду мікроконтролера протезної системи та шляхом класифікації сигналу, відтворювати певні рухи штучних пальців виконавчими механізмами протезу. При цьому, для реалізації програмного рішення було розроблено алгоритм (рисунок 2), практична інтеграція якого здійснювалась за допомогою мови програмування Python у середовищі JupyterLab. Детальний огляд структури ШНМ, що використовувалась у даному алгоритмі наведено у минулих дослідженнях [5]. Результат тестування розробленого ПЗ із класифікатором на основі ШНМ для розпізнавання чотирьох видів рухів пальців показано на матриці похибок, що представлена на рисунку 3.

## **ВИСНОВОК**

У роботі розглянуто основні особливості вимірювання, розрахунку параметрів та класифікації міографічних сигналів для керування біонічними протезами кінцівок. Описано основні методи вимірювання міографічного сигналу, розроблено алгоритм та програмне рішення для автоматизованої класифікації типів рухів на основі розрахунку часових і спектральних характеристик міографічного сигналу. Запропоновано функціональну схему автоматизованого модуля для спектрального аналізу. При попередньому тестуванні розробленого модулю на чотирьох видах рухів пальців долоні, було досягнуто точності класифікації сигналів згідно показника F-score із результатом у 81%. В подальших дослідженнях планується використання розробленого модулю та його програмного забезпечення для класифікації набору force-міографічних сигналів.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1]. Kang S, Kim H, Park C, Sim Y, Lee S, Jung Y. sEMG-Based Hand Gesture Recognition Using Binarized Neural Network. *Sensors*. 2023; 23(3):1436.
- [2]. Вонсевич К.П. Оцінювання часових характеристик електроміограми функціональних рухів кисті руки для інтуїтивного керування біонічним протезом / К.П. Вонсевич, М.О. Безуглий, А.О. Гапонюк // Наукові Вісті НТУУ КПІ. — 2018. — №. 1. — С. 45–53.
- [3]. Anvaripour, M., & Saif, M. (2018). Hand gesture recognition using force myography of the forearm activities and optimized features. 2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT).
- [4]. Brigham E. O. THE FAST FOURIER TRANSFORM AND ITS APPLICATIONS / E. Oran Brigham. - Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 1988. - 448 с.
- [5]. В. Терещенко, К. П. Вонсевич “Аналіз ефективності застосування часових і частотних характеристик для класифікації електроміографічного сигналу” XVI Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 16-17 травня 2023 р., м. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С. 137-140.

*Наук. Керівник- д.т.н., професор, Безуглий М. О.*

УДК 615.849.1

*В.В. Шалімов, студент гр. ПБ-02*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕРАПІЇ**

**Анотація.** Автоматизована система ультразвукової терапії (АСУТ) є актуальною та перспективним напрямом фізіотерапії, оскільки вона дозволяє підвищити ефективність та безпеку лікування, втім числі і трансдермального введення ліків. У статті розглядається новий спосіб обробки даних вимірювання параметрів проникнення лікувальних речовин в біологічну тканину (БТ) та оцінки її фізіологічного стану за допомогою ультразвуку. Запропоновано новий алгоритм обробки, який забезпечує високу точність визначення швидкості та глибини проникнення ліків в БТ, а також ресстрації значень температури БТ. Також розглянуті засоби та апаратну реалізацію цього способу, які дозволяють контролювати та регулювати інтенсивність ультразвукового впливу на БТ.

**Ключові слова:** ультразвукова терапія, параметри проникнення ліків в біологічну тканину, фізіологічний стан біологічної тканини, алгоритм обробки даних вимірювання .

### **ВСТУП**

Ультразвукова терапія є одним з найперспективніших напрямків в сучасній медицині, який дозволяє ефективно впливати на різні захворювання та патології [1]. Одним із застосувань ультразвуку є трансдермальна доставка лікарських препаратів в глибину біологічної тканини, що має ряд переваг перед іншими методами [2]. У цій статті розглянуто АСУТ, яка дозволяє формувати ультразвукові коливання з заданими параметрами, вимірювати та контролювати параметри проникнення ліків в біологічну тканину за допомогою комбінованих електродів, датчика температури та параметрів ультразвуку [3]. Система базується на методі визначення залежності значень електропровідності від частоти зондуючого струму, який дозволяє визначити коефіцієнт поляризації тканини, що характеризує її фізіологічний стан [4]. Для обробки отриманих даних система використовує модернізований метод визначення дисперсії глибини проникнення ліків, який дозволяє оцінити швидкість та глибину проникнення ліків під впливом ультразвуку[5].

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Структурно-функціональна схема автоматизована система ультразвукової терапії (рис.1), який реалізує, як спосіб контролю параметрів інтенсивності ультразвукового випромінювання, так і систему обробки даних, містить такі структури: блок живлення 9, який живить генератор 1, модулятор 2, буферний каскад 3, попередній підсилювач 4 і вихідний підсилювач 5, блок керування 11 та імпульсний генератор 10. Генератор 1 створює ультразвуковий сигнал, який модулюється інфразвуковим сигналом від інфразвукового генератора 6. Імпульсний генератор 10 формує імпульси, які впливають на буферний каскад 3, що регулює амплітуду ультразвукового сигналу. Блок керування 11 координує роботу генераторів 1, 6 і 10, а також вимірювачів температури 17 і параметрів інтенсивності ультразвуку 20. Вихідний підсилювач 5 підсилює ультразвуковий сигнал і подає його на випромінювач 15, який контактує з біологічним об'єктом. Індикатор вихідної потужності 8 показує потужність ультразвукового сигналу на виході вихідного підсилювача 5. Диференціальний підсилювач 12, керований резистивний дільник 13, світловий та звуковий оповіщувач 14 та зразковий опір

16 слугують для контролю акустичного контакту випромінювача 15 з біологічним об'єктом. За допомогою вимірювачів температури 17 і параметрів інтенсивності ультразвуку 20, блоків порівняння температури 18 та ультразвуку 21, задатчиків параметрів температури 19 та інтенсивності 23 випромінювання, здійснюється моніторинг та регулювання параметрів температури та інтенсивності .

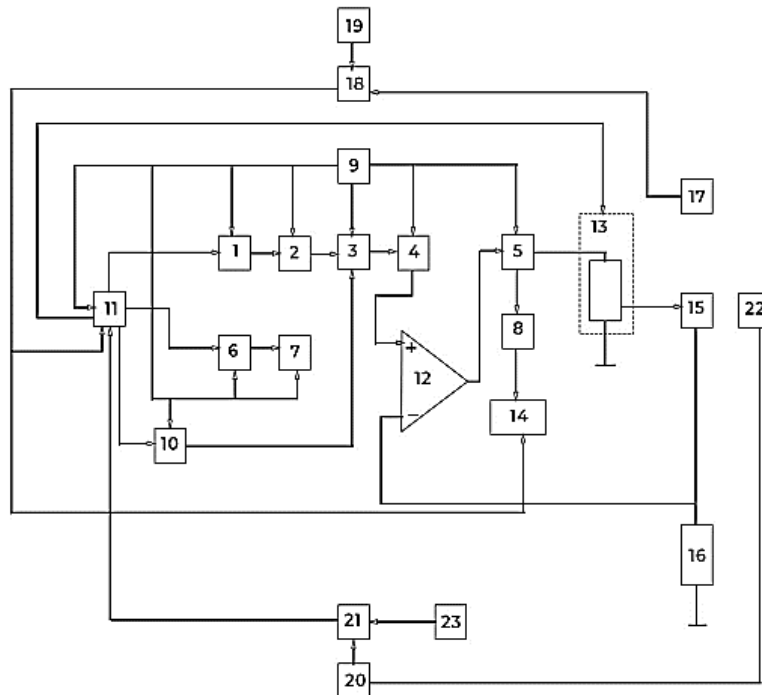


Рис. 1. Структурно-функціональна схема автоматизованої системи ультразвукової терапії

Генератор 1 створює ультразвуковий сигнал з заданою частотою, який подається на модулятор 2, де він модулюється інфразвуковим сигналом, який генерується інфразвуковим генератором 6. Модульований сигнал проходить через буферний каскад 3, який ізолює генератор від навантаження та підсилювачів. Буферний каскад також має вхід для імпульсного генератора 10, який дозволяє вмикати та вимикати ультразвуковий сигнал з заданою частотою. Це дозволяє регулювати тривалість ультразвукового впливу. Імпульсний генератор керується блоком керування 11, який також керує генератором 1 та інфразвуковим генератором 6.

Підсилення ультразвукового сигналу здійснюється за допомогою попереднього підсилювача 4 та вихідного підсилювача 5, які забезпечують необхідну потужність для випромінювача 15. Вихідний підсилювач також підключений до індикатора вихідної потужності 8, який відображає рівень потужності ультразвукового сигналу. Індикатор вихідної потужності також підключений до світлового та звукового оповісника 14, який сигналізує про перевищення або недолік потужності .

Контроль параметрів ультразвукового випромінювання в зоні контакту випромінювача з біологічним об'єктом здійснюється за допомогою диференціального підсилювача 12, керованого резистору[6].

## АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ДАНИХ

Для обробки та аналізу вимірних даних використовуються система визначення дисперсії, що базується на залежності:

$$D_1 = S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N_1 - 1}, \quad (1)$$

де  $D_1$  – дисперсії глибини  $h$  проникнення лікарського засобу, без впливу ультразвуку (інтенсивність  $I=0$ ), при визначеній температурі  $T_i$

$S_1$  – середньоквадратичне відхилення вимірних значень глибини проникнення;

$N_1$  – кількість дослідів;

$X_i$  – значення досліджуваного параметру вимірних значень глибини проникнення;

$\bar{X}$  – середнє арифметичне вимірних значень глибини проникнення.

Так визначення дисперсії  $D_2$  глибини проникнення лікарського засобу, під час впливу ультразвуку (інтенсивність  $I \neq 0$ ), при визначеній температурі  $T_i$ :

$$D_2 = S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{i2} - \bar{X}_2)^2}{N_2 - 1}, \quad (2)$$

де  $S_2$  – середньоквадратичне відхилення вимірних значень глибини проникнення під час дії ультразвуку ;

$N_2$  – кількість дослідів під час дії ультразвуку;

$X_{i2}$  – значення досліджуваного параметру вимірних значень глибини проникнення під час дії ультразвуку;

$\bar{X}_2$  – середнє арифметичне вимірних значень глибини проникнення під час дії ультразвуку

Значення різниці дисперсії  $\Delta D$  визначають за формулою:

$$\Delta D = D_1 - D_2 \quad (3)$$

Швидкість  $V$  зміни дисперсії визначається за формулою:

$$V = \Delta D / \Delta t, \quad (4)$$

$\Delta t$  – значення часу зміни різниці дисперсій.

Значення електричної провідності  $g$ , без впливу ультразвуку, визначається за формулою:

$$g = \frac{l}{R \cdot S} \quad (5)$$

$l$  – довжина зразка,

$S$  – площа поперечного перерізу досліджуваного зразка,

$R$  – електричний опір біоструктури.

Електрична провідність  $g^\circ$ , під час впливу ультразвуку, визначається за формулою:

$$g^\circ = \frac{l}{R \cdot S} \quad (6)$$

Тоді ж як різниця електричної провідності  $\Delta g$  обраховується за формулою:

$$\Delta g = g - g^\circ \quad (7)$$

Таким чином по значенням різниці дисперсії  $\Delta D$ (3) та швидкості  $V$  зміни дисперсії (4) і різниці електричної провідності  $\Delta g$ (7) визначається фізіологічний

стан досліджуваної біологічної тканини.

## **ВИСНОВКИ**

У цій статті досліджено алгоритм обробки даних АСУТ, яка дозволяє вимірювати та контролювати параметри проникнення ліків в біологічну тканину. Система базується на методі визначення залежності значень електропровідності від частоти зондуючого струму, який дозволяє визначити коефіцієнт поляризації тканини, що характеризує її фізіологічний стан. Також система використовує метод визначення різницевої дисперсії глибини проникнення ліків, який дозволяє оцінити швидкість та глибину проникнення ліків під впливом ультразвуку. Система має високу точність, чутливість та швидкість виміру, а також можливість автоматичної регуляції параметрів ультразвукового впливу в залежності від результатів виміру.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, М. В. Чухраєв, А. Ю. Кравченко, Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія, Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
- [2] Pavlov S.V. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press – 210 Pages.
- [3] Терещенко М.Ф., Кирилова А.В. Оцінка впливу ультразвукового сигналу на біологічні тканини. Частина 1 // Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобудування. — 2010. — Вип. 39. — С. 130—136.
- [4] Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.
- [5] Паньков С.Б. Залежність параметрів проникнення фармакологічних препаратів у біологічну тканину від дії ультразвукових коливань різної інтенсивності / Паньков С.Б., Терещенко М.Ф. // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 29(68), №4, ч.1, 2018. – С.61-66.
- [6] Фізичні основи біомедичної оптики (Монографія) / [Павлов С.В., Кожем’яко В.П., Колісник П.Ф. Козловська Г.І., Думенко В.П.] – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 155 с.
- [7] Лазерні медичні технології: навчальний посібник / [Готра З.Ю., Павлов С.В., Микитюк З.М. та ін.] – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 158 с

*Наук. керівник – доц. Терещенко М.Ф.*

УДК 612.88:616-77

М.С. Щур, студентка гр. ПБ-21мп, к.т.н, доц. Вонсевич К.П.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОДУЛЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТИПУ ПОВЕРХНІ ДЛЯ СИСТЕМИ БІОНІЧНОГО ПРОТЕЗУ

**Анотація.** У роботі розглянуто існуючі методи ідентифікації типу контактних поверхонь. Досліджено особливості аналізу вимірюваного сигналу для ідентифікації поверхні об'єкту маніпуляції та його подальшої класифікації. Розроблено оптико-електронний модуль для розпізнавання поверхонь та визначено структуру і особливості функціонування класифікатора модулю ідентифікації на основі штучної нейронної мережі.

**Ключові слова:** ідентифікація поверхонь, тактильна система, оптичні датчики, штучна нейронна мережа, біонічний протез руки.

### ВСТУП

Розпізнавання типу контактної поверхні об'єктів маніпуляції є одним з нагальних питань для дослідження в сфері протезування верхніх кінцівок. Адаптація штучної руки до форми та текстури об'єкту є досить складним завданням, що зазвичай потребує використання набору сенсорів та технологій з використанням машинного навчання. Реалізація ідентифікації контактних поверхонь протезною кінцівкою дозволяє підвищити подальшу надійність захвату об'єктів маніпуляції, що в свою чергу безпосередньо впливає на точність відтворення природних рухів кінцівки та її загальну подібність до природного аналогу. Зокрема, шляхом розпізнавання поверхні об'єкту маніпуляції можна регулювати розподілення сили з якою біонічна рука стискає предмет та момент його випадкового вислизання.

Станом на сьогодні існують напрацювання, які дозволяють відтворити окремі функціонал протезу, подібний до природної взаємодії руки із оточуючим середовищем. Зокрема, у роботі [1] авторами для реалізації чутливості біонічної системи використано оптичну сенсорну матрицю, з метою виявлення проковзування об'єкту маніпуляції та відтворення зворотного зв'язку між користувачем та системою протезу. Іншими авторами [2] було використано масив ємнісних датчиків у поєднанні із датчиками тиску та сенсорами наближення, задля підвищення точності відтворення хапальних рухів. Проте створення low-cost модулю ідентифікації, який здатний підвищити точність розпізнавання типу поверхні об'єкту маніпуляції із яким взаємодіє протезна кінцівка досі залишається актуальним завданням.

### МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ

Створення автоматизованого модулю розпізнавання типу поверхонь передусім передбачає вибір конкретного методу ідентифікації об'єктів маніпуляції. Станом на сьогодні, загальне різноманіття методів ідентифікації можна розподілити на три основні групи [2,3]:

- Тактильні – полягають у визначенні типу поверхні, базуючись на дослідженні її структурних властивостей, а саме: шорсткості, температури, тертя, тощо.
- Методи обробки зображень – в основі яких передбачається використання камер, оптичних матриць, попіксельна обробка

візуальної інформації, тощо.

- Комбіновані методи – які передбачають комбіноване використання елементів, засобів і алгоритмів, описаних у двох попередніх методах.

Водночас, найбільш розповсюдженими у практичному застосуванні є саме тактильні методи, що в переважній більшості випадків передбачають обов'язкове виконання двох послідовних етапів дослідження:

- Дотик пальців біонічної кінцівки до досліджуваного об'єкту (після чого, сенсори в складі штучних пальців зчитують інформацію про вимірювальну поверхню).
- Аналіз вимірної інформації та розрахунок параметрів сили, необхідної для надійного утримання об'єкту.

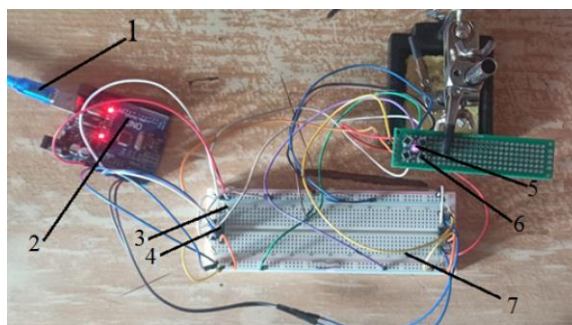
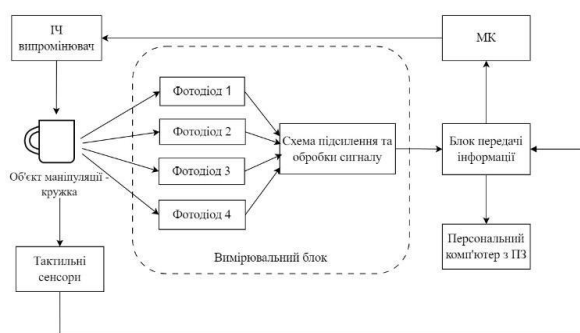
Безпосередній процес розпізнавання структури предмету відбувається на основі визначення його властивостей, а саме: коефіцієнта тиску, шорсткості або тертя, тощо. Після цього, здійснюється процес пост-обробки вимірюного сигналу та застосовується відповідний класифікатор, задля подальшого аналізу отриманої інформації відповідно до можливого набору конкретних поверхонь. Для класифікації сигналу, відповідно до певної категорії використовуються різноманітні методи машинного навчання: штучні нейронні та глибинні нейронні мережі, елементи розмитої логіки, методи аналізу головних компонент або опорних векторів, тощо. Наприклад, авторами роботи [4] для класифікації вимірюного набору сигналів було використано глибинні нейронні мережі, що дало можливість розпізнати 20 різних предметів із загальною точністю у 88,7%. При розрахунку ефективності застосування конкретного методу машинного навчання, зазвичай використовується оцінювання шляхом розрахунку матриці похибок. Така матриця представляє собою масив типу  $N$  на  $M$ , де  $N$  - це кількість колонок із реальними класами, які визначила система, а  $M$  - кількість рядів, які представляють початково визначений набір класів, якого необхідно було досягти.

## **РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОДУЛЮ ІДЕНТИФІКАЦІЇ**

Базуючись на представленій вище інформації, за основу при розробленні модулю ідентифікації було обрано комбінований метод ідентифікації поверхонь, що базується на застосуванні оптико-електронної та тензо-резистивної вимірювальної схеми. Функціональна схема системи та початкове випробування оптико-електронної вимірювальної частини модулю показано на рисунку 1 а та б відповідно.

Як можна побачити з рисунку 1, оптико-електронна вимірювальна частина модулю складається із масиву фотоприймачів (у вигляді фотодіодів BPW34) та додаткового джерела світла у вигляді ІЧ світлодіоду TSA16100, схеми підсилення сигналу на основі підсилювача LM358N та плати керування Arduino, на базі мікроконтролеру ATmega328P-AU, який містить необхідне програмне забезпечення для проведення вимірювань та реалізації каналу передачі інформації (який може здійснювати подальший трансфер вимірних даних, як до системи керування протезу, так і на ПК) для подальшої обробки.





А)

Б)

Рисунок 1. А) Функціональна схема. Б) Система для проведення експерименту, де 1) зовнішній канал зв'язку, 2) плата ардуіно, 3) резистор 200кОм, 4) операційний підсилювач, 5) ІЧ світлодіод, 6) масив фотодіодів, 7) макетна плата

Для розрахунку ідентифікаційних параметрів було виокремлено набір часових характеристик (дисперсію, середнє абсолютне відхилення та максимальне значення функції), відносно яких у подальшому і буде проводитись класифікація набору об'єктів із певним типом контактної поверхні. Розрахунок обраних характеристик здійснювався за допомогою наступних формул:

1. Дисперсія (VAR) – показує різницю поточного та середнього значення функції та обчислюється відповідно до формули 1:

$$\text{Var}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_i - \underline{x}_i)^2 \quad (1)$$

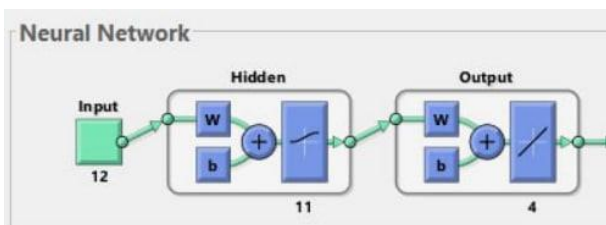
2. Середнє абсолютне відхилення (MAD) – характеризує розсіювання певної величини навколо центру розподілу:

$$\text{MAD}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_i - X), \quad (2)$$

3. Максимальне значення функції (Peak) – показує максимальне значення, що характерне певному часовому інтервалу :

$$\text{Peak}_i = \max_{[a,b]} x_i \quad (3)$$

Такий набір характеристик було обрано по причині простоти подальшої реалізації і не складного механізму загальних обчислень.



Precision: 0.76; Recall: 0.84; F-score: 0.8; Accuracy: 0.76

Output Class	Тверде	Мяке	Слизьке	Крихке
Тверде	100.0% 50	0.0% 0	0.0% 0	0.0% 0
Мяке	4.0% 2	96.0% 48	0.0% 0	0.0% 0
Слизьке	0.0% 0	0.0% 0	100.0% 50	0.0% 0
Крихке	28.0% 14	66.0% 33	0.0% 0	6.0% 3
	Тверде	Мяке	Слизьке	Крихке

Target Class

А)

Б)

Рисунок 2. А) Структура неймережі. Б) Матриця похибок отримана при класифікації 4 поверхонь

Після розрахунку характеристик було розроблено структуру (рис. 2, а), здійснено тренування та тестування нейромережі. Подальше оцінювання отриманих результатів проводилось на основі матриці похибок (рис. 2, б) та розрахунку чисельного значення параметра F-міри. Для фінальної класифікації було обрано штучну нейронну мережу прямого поширення, що має один вхідний, вихідний та один прихований шар на 11 нейронів та використовує сигмоїд, як перехідну функцію.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Відповідно до отриманої матриці похибок точність ідентифікації становить 80%. У цій роботі авторами було проведено короткий огляд методів розпізнавання контактних поверхонь, що застосовується у біонічному протезуванні кінцівок та розглянуто особливості розроблення автоматизованого модулю ідентифікації контактних поверхонь на основі поєднання оптичних і тензо-метричних сенсорів. Розроблено оптико-електронну частину модулю з класифікатором у вигляді штучної нейронної мережі та проведено її тестування на чотирьох типах контактних поверхонь (твердій, м'якій, слизькій і крихкій) із загальним показником достовірності класифікації у 80%, згідно з параметром F-міри.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ciancio, A. L., Cordella, F., Barone, R., Romeo, R. A., Bellingegni, A. D., Sacchetti, R., Zollo, L. (2016). "Control of Prosthetic Hands via the Peripheral Nervous System." *Frontiers in Neuroscience*, 10.
- [2] Saccomandi, Paola & Schena, Emiliano & Oddo, Calogero & Zollo, Loredana & Silvestri, Sergio & Guglielmelli, Eugenio. (2014). Microfabricated Tactile Sensors for Biomedical Applications: A Review. *Biosensors*. 4. 422-48. 10.3390/bios4040422.
- [3] Vonsevych, K. (2024). Myographic System of the Bionic Wrist with Surface Type Identification. In: Bezuglyi, M., Bouraou, N., Mykytenko, V., Tymchyk, G., Zaporozhets, A. (eds) *Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 511, pp. 193-231. Springer, Cham.
- [4] Schmitz, Alexander & Bansho, Yusuke & Noda, Kuniaki & Iwata, Hiroyasu & Ogata, Tetsuya & Sugano, Shigeki. (2015). Tactile object recognition using deep learning and dropout. 2015. 1044-1050

*Наук. керівник – к.т.н, доцент, Вонсевич К.П.*

УДК 57.087.2

Ю.А. Юхименко, студ. гр. ПБ-21мп, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛАМІНАРНОГО ПОТОКУ ПОВІТРЯ З УРАХУВАННЯМ АКУСТИЧНОГО ШУМУ

*Анотація.* У роботі розглядається математична модель ламінарного потоку повітря. При дослідженні потоку повітря, крім його ламінарності, важливим параметром є також акустичний шум, який надходить від повітря, яке проходить через вентиляційний канал. Таким чином класична математична модель була удосконалена в частині урахування акустичного шуму.

**Ключові слова:** ламінарний потік повітря, акустичний шум, математична модель, вентиляційний канал.

### ВСТУП

Тестування ефективності глушників шуму у вентиляційних каналах систем ШВЛ апаратів, зазвичай виконується з метою забезпечення максимально комфортного та безпечного середовища для пацієнта, який отримує штучну вентиляцію легень. Глушники шуму допомагають зменшити рівень шуму, що створюється системою вентиляції, тим самим зменшуючи негативний вплив шуму на пацієнта та забезпечуючи сприятливі умови для його одужання. Окрім того, перевірка ефективності глушників може допомогти виявити можливі проблеми з системою вентиляції та запобігти їх подальшому розвитку.

Процес дослідження та моделювання потоку повітря у вентиляційних каналах ШВЛ (штучної вентиляції легень) апаратів за рахунок виготовлення тестових варіантів різних конструкцій глушників, в результаті виявив зміну конструкції кутопроводу в кисневому тракті у порівнянні з досліджуваними зразками. В одній з конструкцій глушників була помічена найменша залежність від положення встановлення в кисневий тракт, а також найменша похибка вимірювання потоку.

В роботах [1, 2] було описано методику моделювання потоку повітря для дослідження його ламінарності, а також методику експерименту для визначення ефективності розроблених глушників вентиляційних каналів в якості вирівнювачів потоку повітря. Для вимірювання об'єму потоку повітря за допомогою датчика необхідно, щоб потік не був турбулентним, оскільки в такому разі вимірювання будуть некоректними і не можуть бути використані в роботі апарату ШВЛ.

Головною метою даної роботи є дослідження спрямовані на удосконалення класичної математичної моделі ламінарного потоку повітря, з урахуванням критерію акустичного шуму, оскільки глушник крім функції вирівнювання потоку повітря також має знижувати акустичний шум від проходження повітря[3].

### ОПИС МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Отже потік повітря, що проходить через вентиляційний канал ШВЛ апаратів, проходить через глушник, а потім знову надходить у вентиляційний канал можна охарактеризувати наступними параметрами:

$L$  – довжина глушника (мм)

$P_0$  – початковий тиск повітря ( $Pa$ )

- $A_1$  – площа поперечного перерізу трубки (каналу) перед глушником ( $\text{мм}^2$ )  
 $A_2$  – площа поперечного перерізу глушника (сума площ всіх отворів) ( $\text{мм}^2$ )  
 $A_3$  – площа поперечного перерізу трубки після глушника ( $\text{мм}^2$ )  
 $S$  – площа поперечного перерізу одного отвору глушника ( $\text{мм}^2$ )  
 $P$  – тиск у глушнику ( $\text{Па}$ )

де константами є:

$\gamma$  - ізентропічний індекс повітря (приблизно 1.4 для повітря в Києві)

$\rho$  – щільність повітря =  $1,2255 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$\mu$  - в'язкість повітря =  $18.6 \text{ Па}\cdot\text{с}$

$g$  – гравітаційне прискорення =  $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$A = A_1 = A_3$  , оскільки діаметр каналу перед глушником буде такий самий, як і після.

В той час коли всі параметри можна визначити вимірюванням розмірів глушника, а початковий тиск повітря буде задаватися за допомогою стенда – тиск всередині глушника (всередині отвору діаметром 1 мм) визначити складно. Для цього можна використати можливість симуляції процесу у САПР SolidWorks [4].

Проведемо моделювання потоку повітря за допомогою інструменту SOLIDWORKS Flow Simulation (симуляція потоку), що дозволяє виконувати моделювання на основі будь-якого газу або рідини. У поточному випадку (і в математичній моделі, і під час експерименту) через вентиляційний канал проходить повітря, тому для симуляції теж буде використане повітря. Вхідні дані експерименту представлено в табл. 1.

Табл. 1 Вхідні дані моделювання в Flow Simulation

Агрегатний стан		Газоподібний
Вид		Повітря
Вхідний тиск		4,2 Бар = 0,42 МПа
Тип потоку		Ламінарний та турбулентний
Інтенсивність турбулентності		2%
Температура повітря		293 К

З рис. 1 та рис. 2 видно, що тиск всередині глушника дорівнює приблизно 150000 Па (Паскалів), або ж 150 кПа.

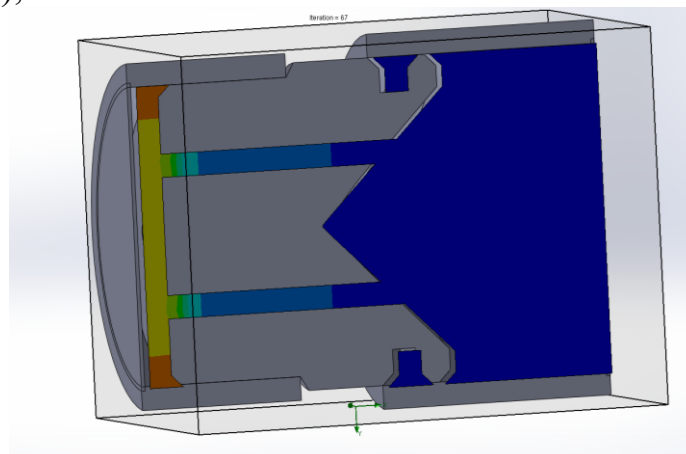


Рис. 1 Результат моделювання потоку повітря, яке проходить через глушник за вхідними даними з табл. 1. Розподіл тиску всередині глушника

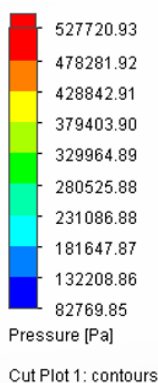


Рис. 2 Шкала розподілу тиску всередині глушника

Використовуючи отримані параметри можна виразити математичну модель потоку повітря через глушник рівнянням руху (або ж рівнянням імпульсу) (1)[5]:

$$\frac{\delta(\rho Au)}{\delta t} + \frac{\delta(\rho Au^2)}{\delta x} = -\frac{\delta P}{\delta x} + \rho g - \frac{\delta}{\delta x} \left( \mu \frac{\delta u}{\delta x} \right) \quad (1)$$

Оскільки в експериментальних моделях глушників також змінюється їх довжина  $L$ , то це необхідно врахувати. Тоді рівняння (1) можна представити у вигляді (2):

$$\frac{\delta(\rho Au)}{\delta t} + \frac{\delta(\rho Au^2)}{\delta x} = -\frac{\delta P}{\delta x} + \rho g - \frac{\delta}{\delta x} \left( \mu \frac{\delta u}{\delta x} \right) - \frac{\delta}{\rho \delta x} \left( \frac{\mu L}{A_2} \frac{\delta u}{\delta x} \right) \quad (2)$$

де :

$\frac{\delta}{\delta x} \left( \mu \frac{\delta u}{\delta x} \right)$  – коефіцієнт в'язкості, який враховує опір в'язкості вздовж отвору глушника

$\frac{\delta}{\rho \delta x} \left( \frac{\mu L}{A_2} \frac{\delta u}{\delta x} \right)$  – додатковий коефіцієнт в'язкості, який враховує також і довжину отвору глушника  $L$ .

У нашому випадку також необхідно врахувати в математичній моделі потоку повітря рівень акустичного шуму, оскільки експериментально було доведено залежність його величини від конструкції глушника, а саме величини  $L$ . Тому складову акустичного тиску, представимо у вигляді (3)

$$\frac{\delta \rho'}{\delta t} + u \frac{d\rho}{dx} + \gamma \rho' \frac{\delta u}{\delta x} = 0 \quad (3)$$

Отримані залежності 2, 3 враховують необхідні параметри, які впливають на ламінарність потоку повітря, а саме додаткове врахування акустичного шуму, який спричиняє цей потік при проходженні через глушник[6].

Тоді удосконалена математична модель ламінарного потоку повітря, з урахуванням критерію акустичного шуму має вигляд (4):

$$\frac{\delta(\rho Au)}{\delta t} + \frac{\delta(\rho Au^2)}{\delta x} = -\frac{\delta P}{\delta x} + \rho g - \frac{\delta}{\delta x} \left( \mu \frac{\delta u}{\delta x} \right) - \frac{\delta}{\rho \delta x} \left( \frac{\mu L}{A_2} \frac{\delta u}{\delta x} \right) + \frac{\delta \rho'}{\delta t} + u \frac{d\rho}{dx} + \gamma \rho' \frac{\delta u}{\delta x} \quad (4)$$

## ВИСНОВКИ

В роботі була розглянута класична математична модель ламінарного потоку повітря, яке проходить через глушник вентиляційного каналу апарату ШВЛ. Оскільки під час тестування моделей глушників було виявлено взаємозв'язок внутрішньої конструкції глушника та величини акустичного шуму, то класичну математичну модель ламінарного потоку повітря було удосконалено в частині урахування впливу акустичного шуму шляхом введення відповідного коефіцієнта  $\rho'$ . Цей підхід дозволить в перспективі більш детально досліджувати моделі глушників, шляхом моделювання потоку повітря з урахуванням всіх параметрів впливу на систему вентиляційних каналів ШВЛ апаратів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Y. A. Yukhymenko, N. V. Stelmakh. "Simulation of air flow in vent channels of medical equipment", in XVII All-Ukrainian Scientific-Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists "Efficiency and Automation of Engineering Solutions in Instrumentation", December 07-08, 2021, pp. 330-333.
- [2] Y. A. Yukhymenko, "Algorithm of practical testing of mufflers of ventilation channel" / Y. A. Yukhymenko, N. V. Stelmakh // XV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 14 червня 2022 р., м. Київ, Україна : збірник праць конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С. 154–157.
- [3] F. Clarke, "Ventilators", у Practical Guide to Common Clinical Procedures and Emergencies. CRC Press, 2005, с. 335–340. Дата звернення: 29 лист. 2023. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.1201/b14653-55>
- [4] B. Crossley, "Understanding ventilators", Biomed. Instrum. & Technol., т. 47, № 5, с. 435, верес. 2013. Дата звернення: 29 лист. 2023. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.2345/0899-8205-47.5.435>
- [5] "Mufflers and Silencers", у IISc Lecture Notes Series. WORLD SCI. / INDIAN INST SCI. INDIA, 2013, с. 151–220. Дата звернення: 22 жовт. 2023. [Онлайн]. Доступно: [https://doi.org/10.1142/9789814434744\\_0005](https://doi.org/10.1142/9789814434744_0005)
- [6] "Properties of air", у Rotating Flow. Elsevier, 2011, с. 367–372. Дата звернення: 22 жовт. 2023. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-382098-3.00014-7>

*Наук. керівник – доцент, к.т.н. Стельмах Н.В.*

УДК 621.3 : 681.5 : 616.24-008.331.1

Є.О. Якобчук, студент гр. ПБ-21мп, к.т.н., с.н.с. Ключко Т.Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

## АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ЛЕГЕНЕВОЇ ГІПЕРТЕНЗІЇ

**Анотація.** У роботі досліджено характеристики дії сенсора контролю електромагнітних полів, як нового напрямку при діагностуванні легеневої гіпертензії. На основі дослідження було створено блок-схему роботи модулю обробки сигналів, кінцевим результатом якої є прогнозування хвороби. Розроблено програмний алгоритм дії модуля зворотного зв'язку, який надає рекомендації щодо подальшого лікування пацієнта.

**Ключові слова:** автоматизована медична система, легенева гіпертензія, діагностика, алгоритм, блок-схема, сенсор контролю електромагнітних полів.

### ВСТУП

Автоматизовані інформаційні системи для використання в медичних установах, їх розвиток в умовах сучасної медицини та їх створення і принципи функціонування на даний момент є актуальною проблемою в галузі медичного обладнання. Це обумовлено необхідністю постійного моніторингу стану медичного обслуговування пацієнтів, організації діагностичних і терапевтичних процесів, що підвищує надійність роботи клінічних закладів. Автоматизація функціонування медичних установ є багатовекторним процесом.

Серед цих завдань важливим є розробка методів організації автоматизованих медичних інформаційних систем [1]. Створення подібного обладнання можливе лише на основі багаторівневих інтегрованих систем. При цьому необхідно використовувати контрольню-вимірювальну апаратуру, яка призначена для визначення параметрів, які найбільше впливають на фізіологічний стан пацієнта, а також апаратуру для здійснення лікувальних втручань. Підключення загальної автоматизованої медичної системи до апаратури контролю та вимірювань є технічно складним завданням.

Отже, важливою задачею є забезпечення контролю за показниками стану пацієнта, який перебуває в робочій зоні медичного обладнання, з метою виявлення екстремальних ситуацій та погіршення стану пацієнта. У даній роботі запропоновано використовувати принцип зворотного зв'язку, який означає поєднання апаратурної периферії для реєстрації показників з основною системою центрального керування та формування команд для керування процесом.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Автоматизований комплекс функціональної діагностики для раннього виявлення легеневої гіпертензії є сьогоднішнім актуальним напрямом в медичних дослідженнях та практиці. Легенева гіпертензія є серйозним станом, який характеризується підвищеним тиском у легеневій артерії. Це може призвести до значних ускладнень, таких як серцево-судинні захворювання, порушення кровообігу та зниження якості життя.

Саме тому головною ціллю даного дослідження є розробка принципів дії автоматизованого комплексу функціональної діагностики стану пацієнта, призначеного для виявлення ранніх ознак легеневої гіпертензії з високою

точністю та чутливістю.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕНСОРА КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Сенсор контролю електромагнітних полів (СКМП) – це новий метод функціональної діагностики ЛГ, який може використовуватися для прямого вимірювання кров'яного тиску в легеневих артеріях. СКМП заснований на принципі, що електромагнітні хвилі поширюються по-різному в різних середовищах. Природно, що за умови проходження через рідину крові електромагнітні хвилі зазнають поглинання [2]. Кількість поглинання залежить від частоти хвиль, температури крові та кров'яного тиску.

Мета дослідження полягала в оцінюванні характеристик сенсора СКМП для функціональної діагностики ЛГ. Результати дослідження показали, що сенсор СКМП може точно вимірювати кров'яний тиск у легеневих артеріях. Різниця між вимірюваннями СКМП та ехокардіографії надає незначні розходження. Ступінь розходження між вимірюваннями СКМП та ехокардіографії становив 2,5 мм рт. ст. Дослідження також показало, що сенсор СКМП є безпечним з огляду на взаємодії з організмом пацієнта. На основі дослідження запропоновано наступну схему роботи сенсора СКМП (рис. 1).

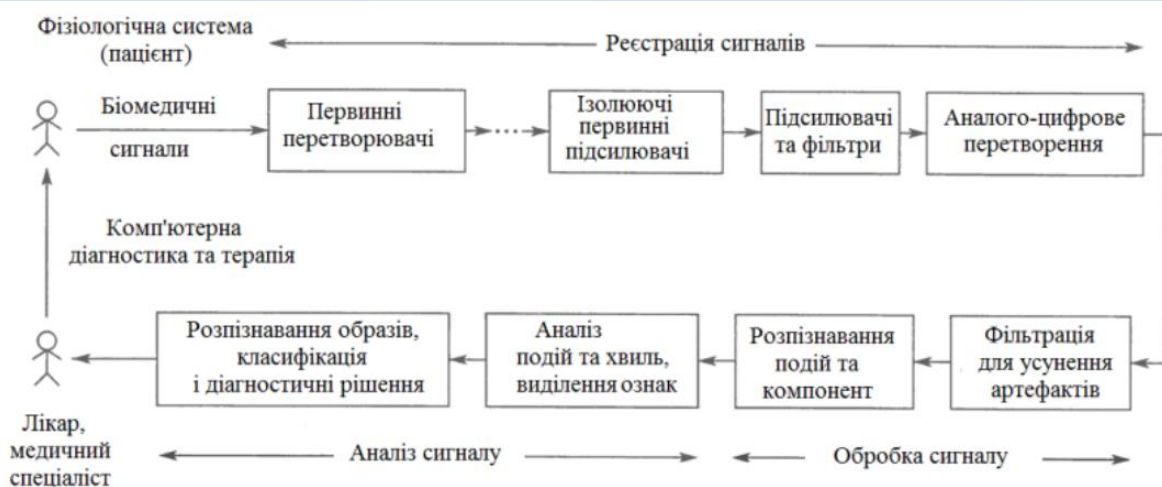


Рис.1. Схема роботи сенсора СКМП

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОДУЛЮ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

На основі аналізу досліджень було створено оптимальний варіант блок-схеми принципу роботи модулю обробки сигналів (рис.2). Спочатку отримуються дані про АТ, частоту серцевих скорочень та ударний об'єм крові. На другому кроці обчислюється систолічний артеріальний тиск. На третьому кроці обчислюються розгалужено відповідні параметри, залежно від отриманих даних про систолічний тиск. На четвертому кроці виводиться результат прогнозування хвороби на екран, залежно від отриманих кінцевих даних.



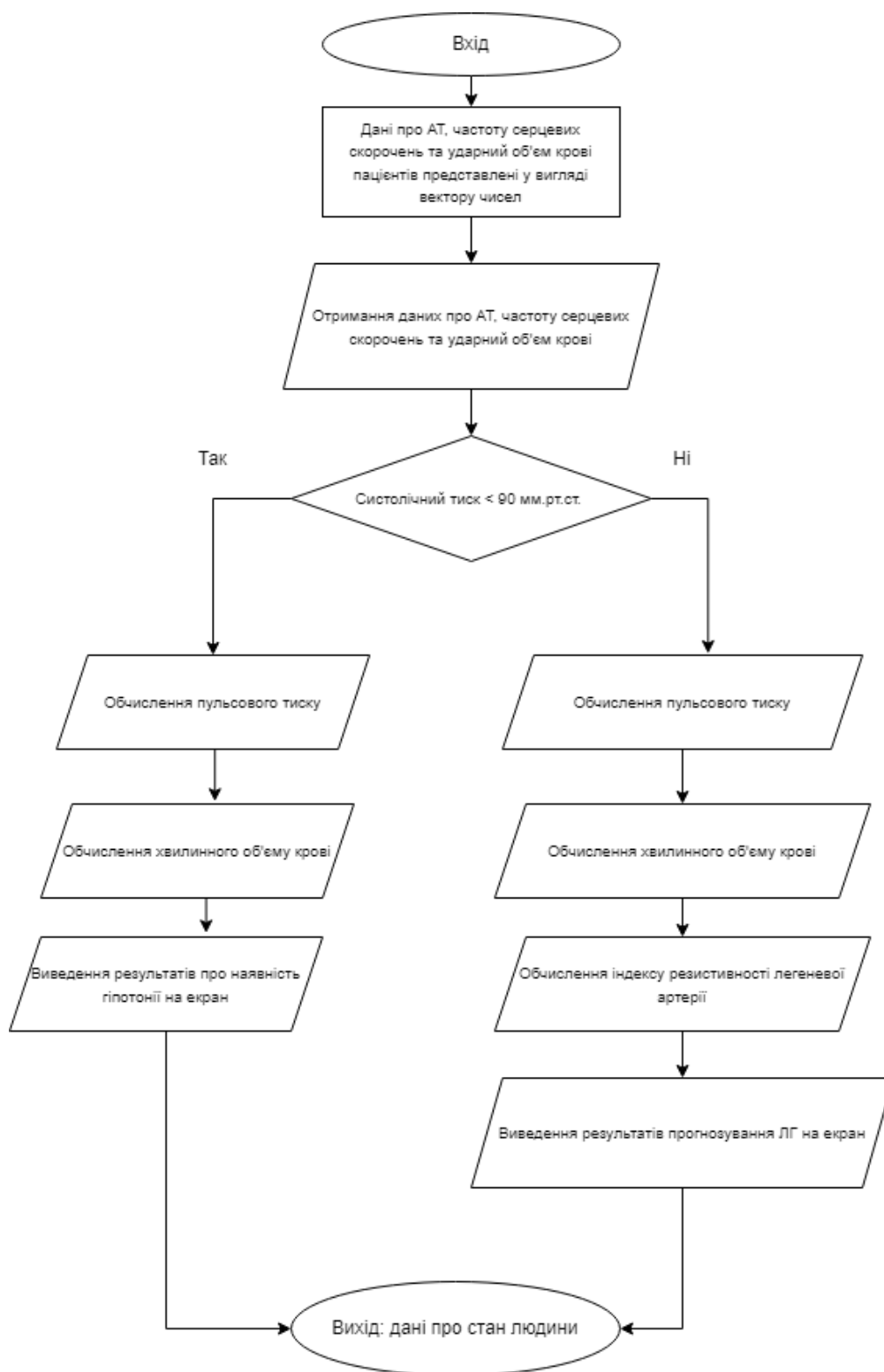


Рис.2 Блок-схема роботи модулю обробки сигналів

## ІНТЕГРАЦІЯ МОДУЛЮ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМУ ДІАГНОСТИКИ ЛГ

Модуль зворотного зв'язку розташований на виході з системи функціональної діагностики. Це дозволяє йому отримувати дані з усіх модулів системи та надавати рекомендації лікарю щодо подальшого лікування пацієнта. Відповідно, модуль зворотного зв'язку також пов'язаний з усіма модулями системи, які відповідають за передачу та обробку даних про пацієнтів [3]. Таким

чином модуль отримує всі необхідні дані для аналізу та надання рекомендацій. Запропонований алгоритм роботи модуля зворотного зв'язку розроблений на основі даних, які будуть передаватися модулю з інших модулів системи.

Рівень легеневої гіпертензії визначається як відношення тиску в легеневій артерії до середнього тиску [4]. На основі рівня легеневої гіпертензії запропонований алгоритм надає лікарю рекомендації щодо подальшого лікування пацієнта. Рекомендації можуть бути такими:

Продовження спостереження за пацієнтом.

Призначення додаткових обстежень.

Призначення лікування.

## **ВИСНОВКИ**

Отже, дослідження показало, що сенсор контролю електромагнітних полів (СКМП) є безпечним і точним методом функціональної діагностики легеневої гіпертензії (ЛГ).

Модуль обробки сигналів стану судинної системи є важливим інструментом для діагностики та лікування легеневої гіпертензії. Вимірювані дані можуть використовуватися для обчислення різних параметрів, які можуть допомогти лікарям визначити наявність та ступінь тяжкості легеневої гіпертензії.

Алгоритм системи діагностування ЛГ може бути використаний для раннього виявлення захворювання, надання більш точних прогнозів та розробки нових методів лікування.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Тимчик Г.С., Скицюк В.І., Клочко Т.Р. Інформаційні технології діагностики стану біотехнічних об'єктів. Київ: НТУУ "КПІ", ВПК "Політехніка", 2017. - 344 с.
- [2] Інформаційні технології в медицині. E-health / за ред. В. Г. Книгавка. – Харків : ХНМУ, 2019. – 72 с.
- [3] Безуглий М.О., Клочко Т.Р., Тимчик Г.С., Скицюк В.І. Метод комплексної діагностики та лікування. Частина 2 // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2005. – Вип. 29. – С. 150 – 159.
- [4] Galiè N, Palazzini M, Manes A. Pulmonary arterial hypertension: from the kingdom of the near-dead to multiple clinical trial meta-analyses. Eur Heart J. 2010;31(17):2080–2086.

*Наук. керівник - к.т.н., с.н.с, Клочко Т.Р.*

## **Секція 8.**

# **Міжнародне науково-технічне співробітництво в приладобудуванні в умовах індустрії 4.0**

## UDC 338.2

*Wang Yutong, Master's student, Ph. D, Associate Professor Olena Korohodova*  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

### **THE ROLE OF FOREIGN DIRECT INVESTMENT FOR BILATERAL COOPERATION IN THE ERA OF INDUSTRY 4.0**

**Abstract.** This study explores the pivotal role of Foreign direct investment (FDI) as an element of bilateral cooperation within the transformative landscape of Industry 4.0. By analyzing case studies and trends, the paper elucidates the reciprocal relationship between FDI and Industry 4.0, emphasizing their combined impact on shaping the future of global industries. The findings underscore the strategic importance of FDI for bilateral cooperation in fostering innovation, enhancing competitiveness, and facilitating cross-border collaborations in the contemporary industrial landscape..

**Keywords:** integration processes, Industry 4.0, industrial enterprises, direct foreign investments, bilateral cooperation, international trade

## **INTRODUCTION**

Industry 4.0 is gaining prominence globally, prompting numerous companies to integrate digital technologies into production and business processes, often through the mechanism of foreign direct investment to shift production to other countries. In this scenario, enhancing the volume and velocity of data exchange among international partners becomes imperative to elevate efficiency, competitiveness, and foster the creation of global industrial and social systems. This study aims to explore the nature of foreign direct investment within the framework of bilateral cooperation between countries amid the dissemination of Industry 4.0 advancements.

## **PURPOSE**

The aim of this research is to examine the nature and implications of foreign direct investment in the context of bilateral cooperation between countries, particularly focusing on the dynamics within the framework of Industry 4.0.

## **RESEARCH MATERIALS AND RESULTS**

The definition of foreign direct investment, as stipulated by the Organization for Economic Cooperation and Development and the United Nations Conference on Trade and Development, is as follows: "an enterprise in one economy (called a parent company or foreign investor) invests in another economy for continued control and benefit rights or the establishment of a long-term relationship by investments made by enterprises (called foreign subsidiaries or branches)" [1]. The World Trade Organization defines foreign direct investment as "investments initiated by investors in one country in order to obtain the management rights of an asset in another country" [2].

Based on traditional international trade theory, scholars initially proposed the trade substitution theory of foreign direct investment. Early empirical research predominantly supported this substitution relationship. The formulation of the substitution theory was primarily influenced by the investment type and export commodity structure of that period. Initially, the international division of labor was not well-defined, and horizontal investment was prevalent in foreign direct investment. This allowed a portion of the home country's productivity to be transferred through foreign direct investment, effectively substituting for exports. Additionally, the export commodity structure was characterized by the dominance of final products in the early stages, where the added

value of exported products primarily originated from the home country.

Foreign direct investment is active in developing countries and exhibits characteristics that are different from the investment behavior of developed countries. Some of the theoretical research areas involve the relationship between investment and trade. The representative theories are as follows:

1. Monopoly advantage theory. Hymer (1960) first proposed the foreign direct investment theory centered on enterprise advantages. This theory holds that the motivation for enterprises to conduct foreign direct investment comes from the fact that they have more monopoly advantages over similar enterprises in the host country and can produce in the host country to obtain more profits. Due to the incompleteness of the market, enterprises can maintain this monopoly advantage, which in turn becomes the decisive factor in foreign direct investment [3].

2. Internalization theory is based on Coase's enterprise theory. Buckley and Casson (1976) proposed internalization theory. This theory explains the problem of monopoly advantages being unable to exert itself. It is believed that enterprises in order to save transaction costs or protect knowledge The market for intermediate products is imperfect and production will be completed within the enterprise. If production needs to be carried out in other countries, multinational corporations will be established and establish internal markets through foreign direct investment. At this time, multinational corporations are a new organizational form of international production division of labor. Internalization theory can well explain the motivations of foreign direct investment. When the trade cost of intermediate goods is high, companies will integrate development, production and sales through foreign direct investment, thereby replacing the export of intermediate goods.

3. Dunning's (1977) eclectic theory of international production integrates the location advantage theory into the monopoly advantage theory and internalization theory. It is also called the "OIL paradigm". That is, if an enterprise has the three advantages of ownership, internalization and location at the same time, They are more willing to choose to use external directives.

FDI plays a crucial role in the sustainable development of countries, benefiting both the home and host nations. FDI contributes by expanding market access, bringing in foreign exchange, fostering skills development and human capital growth, facilitating technology transfer, and enhancing competition in local markets. It supports industry upgrading and enables the integration of Small and Medium Enterprises (SMEs) into regional and global value chains. Governments, including their investment promotion agencies, can strategically promote FDI aligned with specific sustainable development priorities [4].

FDI encompasses diverse forms, each with distinct characteristics: 1) Greenfield FDI, 2) Brownfield FDI or Mergers and Acquisitions (M&A), 3) Joint Ventures (JVs), 4) Reinvestment of profit. First type involves the establishment of a new subsidiary, manufacturing base, or services center in the host country. It is characterized by the infusion of fresh capital, contributing to capital inflows and the creation of new assets within the host country. M&A involves the acquisition of existing businesses in the host country. M&A activities often lead to the consolidation of assets and operations, enabling the investor to gain control over established entities. M&A activities often can be realized as horizontal type, so

it will be classified as a monopoly [5]. JVs represent collaborative partnerships between foreign and domestic entities in the host country. Such ventures involve shared ownership and management responsibilities, fostering collaboration in business operations. And the fourth type consists of reinvestment of profits earned from existing ventures into new projects within the host country. This demonstrates a commitment to continued investment and expansion [4]. Of these types, Greenfield FDI is particularly noteworthy as it denotes the infusion of fresh capital, resulting in capital inflows and the creation of new assets. Each form of FDI contributes uniquely to the economic landscape of the host country, shaping its business environment and fostering international business collaborations [4].

FDI 4.0 involves leveraging the 4th Industrial Revolution for attracting foreign direct investment. To implement FDI 4.0, countries should start by developing a tailored roadmap, involving three key steps: defining global changes related to Industry 4.0, planning activities and timelines, and executing the strategy. The implementation phase is crucial, requiring collaboration among stakeholders and the development of Key Performance Indicators for monitoring and evaluating results.

## CONCLUSION

In conclusion, FDI emerges as a crucial catalyst for the sustainable development of nations, offering diverse forms such as Greenfield investments, M&A, JVs, and reinvestment of profits. Each type contributes uniquely to the economic landscape, shaping business environments and fostering international collaborations. Within the context of the Era of Industry 4.0, FDI gains additional significance, aligning with global technological advancements. The concept of bilateral cooperation further underscores the importance of mutually beneficial relationships between countries. In this collaborative landscape, nations can strategically promote FDI to address specific sustainable development priorities. Whether it be expanding market access, bringing in foreign exchange, or facilitating technology transfer, FDI becomes an integral component of fostering global industrial, educational, and innovative ecosystems.

## REFERENCES

- [1] The official site of the Organization for Economic Cooperation and Development [Electronic resource]. <https://www.oecd.org/> – Accessed: – 09.12.2023 y.
- [2] The official site of the World Trade Organization. [Electronic resource]. – <https://www.wto.org> – Accessed: / – 09.12.2023 y.
- [3] Monopoly advantage theory. <https://www.bartleby.com/essay/S-Hymers-Monopolistic-Advantage-Of-Internalization-Theory-PCQ4HUFKKG>. [Electronic resource]. – Accessed: – 09.12.2023 y.
- [4] The Future of FDI: Reaping the Benefits of FDI 4.0 Workshop Briefing Paper [Electronic resource]. – [https://www.unescap.org/sites/default/d8files/event-documents/FDI%204.0%20briefing%20paper\\_working%20paper%20format\\_share\\_1.pdf](https://www.unescap.org/sites/default/d8files/event-documents/FDI%204.0%20briefing%20paper_working%20paper%20format_share_1.pdf) – Accessed: – 09.12.2023 y.
- [5] Chernenko, N., Moiseienko, T., Korohodova, O., & Hlushchenko, Y. (2021). Analysis of mergers and acquisitions between 2009 and 2020. *Revista Galega De Economía*, 30(4), 1-18. <https://doi.org/10.15304/rge.30.4.7558>

**УДК 339.9:504**

*А.О. Антонова, студентка гр. УС-21, к.е.н., доц. Глущенко Я.І.,  
к.е.н. доц. Черненко Н. О.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **РОЗШИРЕННЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА УКРАЇНИ І ЄС У СФЕРІ БЛАКИТНОЇ ЕКОНОМІКИ**

*Анотація.* Дана робота присвячена питанням розширення науково-технічного співробітництва України і ЄС у сфері блакитної економіки. Розглядаються галузі України, в яких найбільш доцільно впроваджувати технології блакитної економіки. Визначено напрями подальшої співпраці.

**Ключові слова:** блакитна економіка, аквафермінг, морський транспорт, судобудівництво, риболовство.

### **ВСТУП**

У сучасному світі, де глобалізація та стрімкий технологічний розвиток визначають обличчя економічних систем, науково-технічне співробітництво є необхідним для країн, які бажають ефективно інтегруватися в світове господарство. Україна, яка прагне стати інноваційною державою, розширює наукові та технічні зв'язки з Європейським Союзом (ЄС). Одним із аспектом цього партнерства є адаптація до технологій «блакитної» економіки, які дозволять створювати нові робочі місця, сприяють розвитку країни, а також розвитку її конкурентоспроможності.

### **МЕТА**

Дане дослідження спрямоване на визначення перспективних напрямів розширення науково-технічного співробітництва, які сприятимуть не лише розширенню наукового пізнання, але й покращенню технічної компетентності обох сторін у важливому економічному сегменті, пов'язаному із збереження та ефективним використанням водних ресурсів.

Матеріали та результати дослідження. Підвищена увага до блакитної економіки в останні роки зумовлена зростаючою роллю Світового океану. Це обумовлено тим, що водні ресурси є джерелом продовольчих ресурсів, екосистемних послуг і робочих місць.

Перспективи впровадження блакитної економіки не оминають Україну, адже країна має велику берегову лінію і багаті морські ресурси. Так, внутрішні морські води України мають площу 27 тис. км<sup>2</sup>, територіальне море - близько 30 тис. км<sup>2</sup>, а економічна зона - 82 тис. км<sup>2</sup>.

У рамках програми «Угода про асоціацію між Україною та Європейським Союзом» наразі реалізуються проекти: «Розвиток морських технологій в Україні» (2014-2022 рр.), спрямований на розвиток морської науки та технологій в Україні, а також на підвищення конкурентоспроможності українських підприємств в галузі морських перевезень та морського суднобудування; «Збалансований розвиток морського туризму в Україні» (2016-2022 рр.), спрямований на розвиток морського туризму в Україні, а також на підвищення привабливості морських курортів для туристів з ЄС.

Крім того, Україна та ЄС співпрацюють в рамках таких міжнародних програм, як «Фундаментальні дослідження та інновації» (Horizon Europe) та

«MARINER» (Marine Research and Innovation).

В Україні центром підприємств блакитної економіки є частина Північного Причорномор'я. Це Одеська і Миколаївська області

Технології блакитної економіки впроваджуються у такі сфери, як: суднобудування, морський транспорт, аквакультура, офшорна енергетика, рибальство, видобуток корисних копалин та рекреація.

Співпраця з ЄС у цій сфері може дати Україні ряд наступних переваг: доступ до передових технологій і знань (ЄС є одним із світових лідерів у галузі блакитної економіки), розширення ринків збуту, спільне управління морськими ресурсами та залучення інвестицій.

Розглянемо можливості впровадження технологій блакитної економіки в окремі сфери діяльності бізнесу Одеської та Миколаївської області.

Одним із перспективних напрямів використання технологій блакитної економіки є риболовство. Одеська та Миколаївська області мають найбільші запаси водних живих ресурсів в Україні (195,6 тонн або 47% від загального вилову). У регіоні діє близько 284 рибних господарств, які займаються вирощуванням риби в штучних водоймах. Основними видами риби, що вирощуються в регіоні, є: сом, товстолобика, білий амур, короп. Також діє близько 180 підприємств, які займаються переробкою риби. У 2022 році на цих підприємствах було перероблено близько 200 тисяч тонн риби, що становить близько 40% від загального обсягу переробки риби в Україні. Основними видами продукції, що виробляється на цих підприємствах, є: консерви, ікра, рибні вироби.

Внаслідок російської агресії в 2022 році промисловий вилов водних біоресурсів скоротився на 62% і склав 20 тис. тонн. Близько 80% користувачів водних біоресурсів припинили свою діяльність. Господарська діяльність у Чорноморському басейні припинена. Збитки суб'єктів рибного господарства України через дії Росії станом лише на 01.07.2022 досягли 40 млн доларів США. Але не зважаючи на такі масштабні втрати, ця галузь є досить перспективною з точки зору подальшого розвитку. Так, технологіями, які можуть бути використані у риболовстві є застосування дронів для моніторингу рибних запасів та забезпечення екологічної стійкості. Розробка нових методів переробки риби, які дозволять отримувати продукти з високою доданою вартістю (до прикладу, виробництво рибного білка для виробництва нових харчових продуктів). [4]

Ще одним із напрямів, що має великий потенціал, є аквакультура, адже прибережні морські води країни сприятливі для вирощування моллюсків (які не потребують штучного прикорму очищують екосистему від шкідливих бактерій) та евригалінних видів морських риб.

Миколаївська та Одеська області мають значний потенціал для розвитку аквакультури. У 2020 році тут працювало 33 промислових рибницьких господарств та 56 аквакультурних об'єктів. У рамках Програми підтримки галузевої політики Миколаївською міською радою та ТОВ «Центр Підтримки Бізнесу» розпочалася реалізація проєкту «Аквабатор» – інкубатора, що передбачає створення екосистеми для розвитку аквакультури та туристичної привабливості України. З технологій блакитної економіки у аквакультурі можуть



бути використані нові види кормів та розробка нових технологій для вирощування аквакультурних об'єктів у закритих системах (технологія для вирощування риби в рециркулюючих системах, які дозволяють використовувати воду повторно).

Україна залишається важливим постачальником і користувачем вантажних морських перевезень. За останні роки обсяги переробки вантажів у портах України зростали. У 2022 році через порти було перевезено понад 160 млн тонн вантажів - на 12% більше, ніж у 2021 році. Пропускна спроможність Чорноморського порту становить 51 млн тонн вантажу на рік, однак з початком повномасштабної війни Росія заблокувала порти Чорного моря. Дунайський судноплавний шлях став важливою альтернативою морському транспорту сільськогосподарського експорту. За 9 місяців 2022 року через нього було перевезено понад 11 млн тонн вантажів, що в 3,5 рази більше за аналогічний період 2021 року. Морський транспорт також важливий для розвитку відновлюваної енергетики як потенційна заміна вуглеводням. У цьому секторі перспективними напрямками для науково-технічної діяльності є впровадження технологій для зменшення викидів парникових газів у морському суднопластві, а також для зменшення опору суден у воді для зменшення викидів парникових газів. Також можна розглянути ідею розробки нових технологій для підвищення безпеки морського суднопластва, а саме технології для дистанційного керування суднами. [2]

Подальше впровадження технологій блакитної економіки, дозволить розвивати і таку галузь, як суднобудування.

Протягом останніх 30 років, кількість суднобудівних підприємств Південного регіону України зросла майже вдвічі. З початком російської збройної агресії у 2014 році, обсяг виробництва у знизився на 33,3%. Однак з 2020 року кількість побудованих кораблів зросла вдвічі порівняно з першим роком війни.

В цивільному суднобудуванні переважає індивідуальне виробництво, що дозволяє завдяки модульним технологіям і раціональному управлінню ланцюгами поставок пришвидшити виконання контрактів та продавати їх за конкурентоспроможними цінами.

Сучасні реалії суднобудування – це розквіт машинобудування. Конструкторські бюро Миколаєва та Одеси розробляють судна для різних сфер діяльності (в регіоні нараховується 12 бюро), що проектують танкери, балкери, контейнеровози, хімічні танкери, пасажирські судна, кораблі Військово-Морських Сил України та інші типи суден [3].

Із технологій блакитної економіки у суднобудуванні можуть бути застосовані розробка технологій для будівництва ефективних та екологічних суден та автоматизації суднобудівних процесів (наприклад, використання 3D-друку, що дозволить зменшити витрати часу та матеріалів).

Для регіону досить важливою галуззю є туризм: спортивно-відпочинковий (плавання, підводне плавання, катання на човнах/катамаранах/байдарках, риболовля), санаторно-курортний (лікування та оздоровлення за допомогою природних ресурсів, таких як морська вода, мінеральні води, лікувальна багнюка тощо), пізнавальний (музеї, архітектурні та історичні пам'ятки, природні заповідники тощо)

Морські пляжі, природні об'єкти та комплекси завдяки кліматичним умовам сприятливі для лікування та профілактики. У 2022 році Одеська та Миколаївська

області нараховували 592 оздоровчі комплекси, які могли прийняти до 70 тисяч відпочиваючих.

Розвиток екологічного, сільського, історико-культурного, промислового та молодіжного туризму в регіоні відкриє широкі можливості для його економічного розвитку. Технологію блакитної економіки можуть бути використані для підвищення безпеки та комфорту туристів. Як варіант, розробка технології для прогнозування погоди та хвилювання моря, які дозволять планувати свій відпочинок з урахуванням погодних умов.

Слід відзначити, використання морських ресурсів для виробництва енергії (використання енергії хвиль та припливів для виробництва електроенергії); розробка технологій для підвищення стійкості морських екосистем до зміни клімату (створення штучних рифів).

Для подальшого розвитку блакитної економіки в Україні та розширення науково-технічної співпраці з ЄС у цій галузі, може бути запропоновано: розширення фінансування програм і проєктів у галузі блакитної економіки, створення спільних науково-дослідних центрів і лабораторій, розвиток кадрового потенціалу в галузі блакитної економіки, співпраця в галузі стандартизації та сертифікації морських технологій і продукції, співпраця в галузі просування українських морських продуктів і послуг на ринках ЄС [1].

## **ВИСНОВКИ**

В довгостроковій перспективі важливість моря для економіки України зростатиме, а після закінчення виснажливої та руйнівної війни українським підприємцям буде надзвичайно корисно відчутти підтримку іноземних інвесторів та донорів. Тому вкрай важливо зосередити зусилля на участі в грантових програмах ЄС, щоб розширити фінансування програм у морській галузі, створити спільні науково-дослідні центри і лабораторії, розвивати кадровий потенціал у галузі блакитної економіки, співпрацювати в галузі стандартизації та сертифікації морських технологій і продукції, а також у галузі просування українських морських продуктів і послуг на ринках ЄС.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Parsyak, V., Zhukova, O., & Vashchylenko, A. (2023). Ukraine's blue economy: potential and prospects for integration into the european space. *Three Seas Economic Journal*, 4(1), 58-63. <https://doi.org/10.30525/2661-5150/2023-1-7>
- [2] Інформація з офіційного сайту Державного підприємства «Адміністрації морських портів України». URL: <https://www.uspa.gov.ua/news>
- [3] Статистичні звіти Державного агентства меліорації та рибного господарства України за 2016-2021 роки. URL: [https://darg.gov.ua/\\_vidkriti\\_dani\\_0\\_1000\\_menu\\_0\\_1.html](https://darg.gov.ua/_vidkriti_dani_0_1000_menu_0_1.html)
- [4] Дослідження стану бізнесу в Україні. Березень-квітень 2023 р. URL: [https://drive.google.com/file/d/116\\_MoB1Pd9Uh3c7bhLYMSXH4tL\\_iXhK/view](https://drive.google.com/file/d/116_MoB1Pd9Uh3c7bhLYMSXH4tL_iXhK/view)

## УДК 330.34:711.424.4

*С. В. Войтко, зав. кафедри міжнародної економіки, д.е.н., проф.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### РОЗВИТОК SMART-МІСТА НА ЗАСАДАХ ІНДУСТРІЯ 4.0

**Анотація.** Досліджено розвиток Smart-міст на засадах технологій Індустрії 4.0. Виявлено важливі складові для таких міст. Обґрунтовано поступовий перехід від класичних населених пунктів до проектування і будівництва Smart-міст. Наголошено на доцільності використання відкритих даних за стандартом OGD і їх використання з метою поліпшення функціонування Smart-міста, публічність даних надає нові можливості підприємницькій діяльності для розширення спектру послуг і для удосконалення інфраструктури. Рекомендовано розвивати застосунки для оперативного дистанційного доступу до даних міста. Описано основні тренди та правила Smart-міста. Зроблені висновки про функціонування Smart-міста на поточному етапі розвитку суспільства.

**Ключові слова:** Smart-місто, Індустрія 4.0, проектування, стандарт OGD, інфраструктура

#### ВСТУП

Доцільність проектування, будівництва та подальшого розвитку Smart-міст з кожним роком стає все більш актуальним завданням для країн. Smart-економіка вже забезпечує підвищення рівня продуктивності бізнесу. Розвиток Smart-міст можливий при використанні сучасних інноваційних технологій Індустрії 4.0 і розширення форм міжнародного науково-технічного співробітництва. З іншого боку, стрімкий розвиток технологій та зростання рівня загроз соціально-економічним процесам потребує врахування низки факторів при формуванні концепції будівництва Smart-міст.

Значний обсяг робіт з дослідження зазначеної вище проблематики пророблено при виконанні проекту «The Mechanism of Smart City Development in the Context of the Society 5.0 transition», який був підтриманий Альянсом GISU (міжнародний Альянс університетів міст-побратимів міста Гуанчжоу) / Alliance of Guangzhou International Sister City Universities) при Guangzhou University, Китай.

#### ЗАСАДИ ПОБУДОВИ SMART-МІСТ

Smart-міста розглядаються на рівнях місцевостей, територій та громад. Саме розвиток Smart-міст без прив'язки до рівнів вбачається в інтеграції технології у різні сфери суспільного життя. Концептуальні засади побудови Smart-міст передбачають забезпечення стабільності функціонування усіх інфраструктурних об'єктів міста в умовах зовнішніх і внутрішніх впливів. Це є антикрихкість.

Для міст рівня «Smart» важливою є ресурсозаощадлива екосистема, яка має спроможність мінімізації використання ресурсів жителями у помешканнях та інфраструктурою на території громади, а відходи, викиди та скиди ця система має перероблювати.

Побудова Smart-міст з «нуля» має здійснюватися за визначеними керівництвом держави цілями. Звичайно, треба дослуховуватися до пропозицій громади. Цими цілями у загальному вигляді може бути комфортне проживання мешканців або функціонування підрозділів корпорації у визначеному регіоні, за умови, коли Smart-місто будується для працівників корпорації.

Ще при проектуванні Smart-міст важливим є використання концептуальних засад децентралізації та автономності.

## **ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНДУСТРІЇ 4.0 У SMART-МІСТА**

Доцільно здійснювати саме поступовий перехід від звичних для нас населених пунктів до проектування Smart-міст на засадах Індустрії 4.0, сталого розвитку та Суспільства 5.0. Хоча можливі й революційні рішення. Так, Саудівська Аравія вже розпочала будівництво міста Неом (Neom) протяжністю 170 км. Це місто проектується з елементами технологій Smart-міста. Пріоритетними сферами для соціально-економічної системи міста будуть цифрові технології, відновлювана енергетика, біотехнології та медіабізнес. Особливостями регіону стане відсутність доріг та автомобілів (згідно планів транспортне перевезення здійснюватимуться під землею) [1].

## **ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ SMART-МІСТОМ**

Складовою успішного розвитку Smart-міста є доступність відкритих даних і обробка їх у реальному часі. Дані генеруються та обробляються елементами інфраструктури самого міста. Раціональне, зважене та науково обґрунтоване використання результатів цієї обробки може поліпшити функціонування Smart-міста. Тут важливими є засади концепції забезпечення прозорості даних саме за технічним стандартом OGD (Open Government Data) [2].

Проблематика прозорості системи відкритих даних є ключовими для побудови траєкторій розвитку Smart-міста, також для підтримки стійких, людино-орієнтованих і соціально-спрямованих міст. Ці дані, як оброблена, систематизована та класифікована інформація у доступній для Людини формі, є компонентом відкритих інновацій, які надають змогу мешканцям міста формувати свої пропозиції стосовно удосконалення інфраструктури у Smart-місті. Для цього Smart-місто має бути забезпечено ІТ-платформою (центр отримання, зберігання та обробки даних).

У додаток до вищезазначеного саме наявність відкритих даних про функціонування Smart-міста надає змогу багатьом аналітикам, архітекторам, будівельникам, сервісним службам тощо у будь-якому місці світу вивчати досвід конкретного міста. Результатами вивчення можуть стати нові ідеї для проектування нових Smart-міст вже з покращеними характеристиками.

Наголосимо, що Smart-міста саме через прозорість даних доводять свою ефективність, зручність, інноваційність, стійкість. Публічність даних та їхня обробка надає нові можливості підприємницькій діяльності для розширення спектру послуг і для удосконалення інфраструктури.

## **ЗАСТОСУНКИ SMART-МІСТА**

Важливими для розвитку Smart-міст є наявність застосунків до смартфонів, які отримують, обробляють, інтегрують і візуалізують дані з інфраструктури міста та надають користувачу інформацію про такі елементи інфраструктури як транспорт, погодні умови, ресурсне забезпечення, поточні та планові ремонтні роботи. Це не вичерпаний перелік, згодом він може бути розширений. Загалом, ми отримаємо розподілену на значній території інтегровану інформаційну систему з оперативним дистанційним доступом до значної кількості даних міста та інформуванням населення за потреби.

Експлуатація та обслуговування застосунків для Smart-міста стає більш важливішим, аніж їх розроблення. Наявність застосунку підвищує рівень

зручності для мешканців цього міста.

Для оперативного та якісного надання послуг у Smart-місті варто створювати об'єднання підприємницьких структур, які взаємодіють між собою з метою розроблення і впровадження новітніх технологій.

## **ОСНОВНІ ТРЕНДИ ТА ПРАВИЛА SMART-МІСТА**

Тренд 1: розбудова існуючої міської чи приміської інфраструктури на засадах концепції Smart-міста. У такому разі вже існуючий простір проживання Людини покращується засобами Internet of Things і Cloud Technologies.

Тренд 2: урізноманітнення сервісів Smart-міста. Упровадження новітніх технологій та розширення спектру наданих послуг. Існуючі сервіси, окрім функцій доступу до локацій, обміну інформації, кіберфізичної взаємодії, ще інтегруються до банківського сектору з метою зручної оплати сервісів, комунальних платежів, сплати за проїзд тощо.

Для більш ефективного, оперативного та якісного надання послуг створюється об'єднання підприємств, які при співробітництві розробляють і впроваджують необхідні технології у короткий проміжок часу з належним рівнем якості.

## **ВИСНОВКИ**

У підсумку, наведемо декілька відомих правил Smart-міст. Перше правило: зміщення уваги підприємницьких структур з отримання прибутку на збалансований розвиток. Ключовою складовою є соціально орієнтований розвиток. Повторимося, що для Smart-міст нагальним є наявність ресурсозаощадливої екосистеми, яка мінімізує витрати жителів. Друге правило: це правило «антикрихкості». Засади побудови Smart-міста мають передбачати саме стабільність функціонування усіх інфраструктурних об'єктів. Третє правило – «децентралізація та автономність». Побудова Smart-міста з «нуля» здійснюється із визначеними суспільством цілями.

Результати функціонування Smart-міста можна використовувати не тільки у конкретному Smart-місті, а й тиражувати розробку на інші населенні пункти як класу Smart, так і на «класичні» міста. Ці напрацювання є продовженням роботи [3]. Дослідження дозволяє дійти висновку, що людство вбачає основою розвитку не тільки технології, а й підвищення рівня якості та безпеки життя.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Saudi Arabia starts moving earth for its futuristic linear city / Arabian Business. URL: <https://www.arabianbusiness.com/industries/travel-hospitality/470376-saudi-arabia-starts-moving-earth-for-its-futuristic-linear-city>
- [2] Open Government Data and Services. Department of Economic and Social Affairs, United Nations. URL: <https://publicadministration.un.org/en/ogd>
- [3] Войтко С. В. Еволюційні передумови розвитку Smart City на засадах Society 5.0 / С. В. Войтко, Н. Є. Скоробогатова, Н. С. Коновалова // Економічний вісник НТУУ «КПІ». – Київ, 2023. – № 26. – С. 31-36.

УДК 621.311.22+621.317.7

*І. П. Гайдуцький, д.е.н., доц., С. В. Войтко, зав. каф. МЕ, д.е.н., проф.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ДО ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЛАДІВ В ІНДУСТРІЇ 4.0

**Анотація** Окреслено проблематику інтеграції інтернету речей у виробничі процеси, інфраструктуру населених пунктів, зокрема на рівні Smart-City. Зазначено про загрози інформаційно-комунікаційних технологій для енергетичних систем. Наведено приклади атак на такі системи. Проаналізовано інформацію про атомну електростанцію з невеликих реакторів VOYGR SMR за технологією NuScale. Описано взаємодію інфраструктури Smart City з сенсорами. Охарактеризовано системи енергозабезпечення приладів на мікро-контролерах і мікропроцесорах для сучасних вбудованих систем, зокрема, System in Package, System on Module, Microprocessing Unit, System-on-Chip, Multiprocessor System-on-Chip

**Ключові слова:** інтернет речей, Smart City, Індустрія 4.0, прилади, інфраструктура

### ВСТУП

Вирішення проблем інтеграції інтернету речей (IoT) у виробничі процеси, інфраструктуру населених пунктів і, власне, домашнє господарство можливо із забезпеченням безперебійності їхнього функціонування. Це, своєю чергою, передбачає наявність надійного енергоживлення приладів IoT і, при необхідності, можливість оперативного підключення резервного живлення. Безперебійність функціонування приладів забезпечується певним комплексом технічних рішень з енергоживлення елементів IoT. Такими рішеннями є використання високоемних акумуляторів і енергозаощадливої схемотехніки, а також програмно-апаратних рішень Sleep Mode. Наголосимо, що деякі сучасні пристрої можуть працювати до 10 років на одному елементі живлення. Особливої уваги приділяють медичним приладам, наприклад, кардіо-стимуляторам. Відмови акумулятора тут недопустима.

Інтеграція інформаційно-комунікаційних технологій до крупних енергетичних систем має загрози з боку цих технологій. Так, українські енергетичні системи у 2015 році зазнали атаки Black Energy. 2016 рік відзначився Industroyer / Crashoverride – обеструмлення Києва. У 2017 році в Саудовській Аравії відзнавилася атака Triton / Trisis, відбулося аварійне відключення нафтохімічного заводу. Енергетичні мережі США у 2018 році зазнали впливу Grizzly Steppe АРТ [1]. Таких прикладів вже достатньо коли прилади, що інтегровані до системи, завдавали шкоди нормальному функціонуванню енергетики.

Вихід на принципово новий рівень забезпечення безперебійності енергосистем будь-якого рівня можливий за умови використання при проектуванні та реалізації засад Індустрії 4.0. Починати слід з нижчого рівня – лічильники електроенергії, які самостійно передають дані про спожиту нами енергію організації, яка неї постачає. Вже на більш високому рівні ми можемо збирати інформацію засобами Cloud Technology, захищати дані технологією Blockchain, обробляти засобами Artificial Intelligence.

### ЛОКАЛЬНЕ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «МІСЬКИМ» ЯДЕРНИМ РЕАКТОРОМ

Стартап NuScale зі США розробив випробувальну атомну електростанцію з 12 невеликих реакторів. Реактори мають відносно невеликі розміри, вони більш

безпечні існуючих сучасних ядерних реакторів. Особливістю такого реактора є те, що він може бути розміщеним у межах міста і безпосередньо, з низьким рівнем втрат на передачу енергії, забезпечувати населений пункт електроенергією. Конструкція блоку дозволяє помістити його у захисний кожух. Електростанції VOYGR SMR можуть генерувати до 924 МВт електроенергії та поставлятиметься у 12-и, 6-и та 4-ох модульних конфігураціях [2]. У комплексі споживачі можуть отримати електроенергію, централізоване опалення, опріснення води, «зелене» виробництво водню тощо. Реалізацію технології NuScale SMR провадить глобальна енергетична компанія ENTRA1 Energy LLC, що фінансує проект і є власником низки заводів за енергетичним профілем. Загалом, зазначене рішення відноситься до відновлюваних безвуглецевих енергетичних рішень.

### **ПРИЛАДИ У ФУНКЦІОНУВАННІ SMART CITY**

Складовою розвитку таких міст є наявність застосунків до смартфонів чи комп'ютерів, через які здійснюється взаємодія з системами класу «Smart» для міст. Ці системи мають отримувати, обробляти, зберігати та надавати дані з інфраструктури Smart City. Дані генеруються сенсорами та обробляється приладами, які мають відповідати встановленим стандартам. Оброблені та візуалізовані дані надають користувачеві корисну інформацію про транспорт, про погоду, про проблеми інфраструктури тощо. Збільшення кількості приладів розширює інформативність Smart City. І ще до цього, кількість призводить до зростання споживання електроенергії [3].

Перспективним для розвитку зв'язку з приладами, зокрема на рухомих об'єктах (M2M), є система стандарту LPWA (Low-Power and Wide-Area). Прилади, що використовують цей стандарт, забезпечує можливість передавання даних на значні відстані та при низькому енергоспоживанні. Наголосимо, що використання IoT (укр. «індустріальний інтернет речей») за концепцією M2M стає прибутковим бізнесом. Споживчий сегмент M2M називають «Smart» технікою. Пристрої M2M містять програмно-апаратні засоби для підключення до мережі інтернет. Процес передачі здійснюється автоматично з використанням незначних обсягів енергії. Додамо, що використання застосунків для Smart City є важливішим, підвищує рівень зручностей для мешканців міста.

### **СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЛАДІВ НА МІКРО-КОНТРОЛЕРАХ І МІКРОПРОЦЕСОРАХ**

Розроблення та експлуатація сучасних вбудованих систем (англ. Embedded Systems) передбачає використання у пристроях різної складності мікропроцесорних і мікроконтролерних систем. Ці мікропроцесори та мікроконтролери мають різне енергоспоживання, напругу живлення, режими управління живленням тощо. Загалом, споживання пристроями на таких чіпах порівняно з іншими елементами Smart City незначне. Проблема полягає у кількості таких пристроїв у системі міста. З метою удосконалення систем обробки даних на мікроконтролерах вже тривалий час створюються систем, які носять назви «системи в корпусі» (англ. System in Package, аббревіатура – SiP) і «системи на модулі» (англ. System on Module, аббревіатура – SoM). Зазначимо, що

відмінність мікропроцесорної системи (англ. Microprocessing Unit, аббревіатура – MPU) від SiP і SoM полягає у тому, що не потрібно розробляти окрему мікропроцесорну систему, яка забезпечувати цілісність сигналів для високошвидкісних інтерфейсів пам'яті DDR і Ethernet Physical layer (PHY), а також дотримуватися вимог Стандарту електромагнітної сумісності (англ. Electromagnetic Compatibility, аббревіатура – EMC).

Інтегрування пам'яті DDR2 та MPU в SoP знімає обмеження у швидкодії інтерфейсу пам'яті, зменшує габаритні розміри. Для SoM варто відзначити те, що ще у блоці містяться модуль управління електроспоживанням, а також інтегрована енергонезалежна пам'ять.

Технологія «система-в-корпусі» (англ. System-in-Package, аббревіатура – SiP) поширюється як альтернатива «система-на-чипі» (англ. System-on-Chip, аббревіатура – SoC). Для технології SiP в одному корпусі об'єднується декілька кристалів інтегральних чипів. Для технології SoC всі елементи схемного рішення виконуються на одному кристалі, що заощаджує енергію, яку споживає пристрій. SoC є схемним рішенням, яке містить практично всі необхідні функціональні елементи цілого пристрою (однокристального комп'ютера) всього на одній мікросхемі. Проте, універсальність може призводити до підвищення енергоспоживання. Позитивними сторонами є нижча вартість, вища надійність.

Для складних приладів використовуються мультипроцесорні системи на кристалі (англ. Multiprocessor System-on-Chip, аббревіатура – MPSoC). Декілька процесорів споживає більше енергії, ніж один. У такій системі використовують гетерогенні, обчислювальні елементи зі спеціальними функціональними можливостями, наприклад, для специфічних мультимедійних застосунків, телекомунікаційних пристроїв, мережевих систем безпеки тощо.

## **ВИСНОВКИ**

Інтеграція інтернету речей (IoT) у систему Smart City підвищує енергоспоживання і висуває вимоги забезпечення безперебійності їхнього функціонування. Недостатність захисту від зовнішнього втручання генерує загрози з боку цих технологій. Високий рівень забезпечення надійності та безперебійності енергосистем можливий за умови використання засад Індустрії 4.0.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Cyber war Methods and Practice / Geostrategy and Geopolitics, 2019. – 205 p.
- [2] The leader in SMR technology. URL: <https://www.nuscalepower.com/en>
- [3] Almalki F. Green IoT for Eco-Friendly and Sustainable Smart Cities: Future Directions and Opportunities / F. A. Almalki, S. H. Alsamhi, R. Sahal, J. Hassan et al. / Mobile Networks and Applications, 2023. – Vol. 28. – P. 178–202.



УДК 339.92

Я.І. Глуценко, к.е.н., доц., О.О. Корогодова, к.е.н., доц.,  
К.В. Петренко, к.е.н., доц., Н.О. Черненко, к.е.н., доц.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## УРАХУВАННЯ РИЗИКУ ПРИ ТРАНСФОРМАЦІЇ МІЖНАРОДНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ЗАСАДАХ ІНДУСТРІЇ 4.0. З ВИКОРИСТАННЯМ КОНЦЕПЦІЇ ТЕОРІЇ ГРИ

**Анотація.** Дана робота присвячена вивченню урахування ризику при трансформації міжнародної діяльності за принципами Індустрії 4.0. Застосування концепції теорії гри в контексті цього процесу дозволяє розглядати взаємодію учасників на міжнародному ринку як стратегічну гру з врахуванням великої кількості факторів та невизначеностей. Розглядаються ключові аспекти інтеграції принципів Індустрії 4.0 для зменшення ризиків та досягнення конкурентної переваги в глобальному бізнес-середовищі.

**Ключові слова:** теорії гри, Індустрія 4.0, ризик, розумна фабрика, трансформації міжнародної діяльності.

### ВСТУП

Четверта промислова революція, або Індустрія 4.0, вже стала реальністю. Промисловість при Індустрії 4.0 — це не лише підвищення міжнародної конкурентоспроможності країни, вона також розглядається як інструмент для вирішення найгостріших глобальних проблем (споживання відновлюваних і невідновлюваних ресурсів), а також конкретних національних проблем (пропозиція робочої сили, яка змінюється через демографічні зміни) [5,6].

### МЕТА

Мета дослідження полягає у висвітленні процесів трансформації міжнародної діяльності в умовах Індустрії 4.0, а також наданні пропозицій щодо урахування ризиків за допомогою концепції теорії ігор.

Матеріали та результати дослідження. Реалізація Індустрії 4.0 спрямована на використання наявного технологічного і ринкового потенціалу в систематичному інноваційному процесі та об'єднання цієї загальної концепції разом із досвідом, послугами й знаннями співробітників для створення оптимального цілого. Отже, концепція Індустрії 4.0 повинна охоплювати не лише створення вартості як такої, але й організацію роботи та розширення послуг в міжнародній діяльності [3]. Все це досягається за допомогою інформаційних технологій, які зв'язують виробництво, маркетинг й логістику, охоплюючи всі ресурси, виробничі потужності та складські системи. Трансформація міжнародної діяльності поширюється від енергопостачання та розумних електромереж до передових концепцій мобільності (розумна мобільність, розумна логістика). З технічної сторони Індустрія 4.0 базується на інтеграції кіберфізичних систем у виробництво та логістику з наскрізним впровадженням Інтернету речей і послуг у промислових процесах. У цьому розумному середовищі концепція Інтернету речей і послуг, яка була розроблена десять років тому, насправді тепер стає реальністю.

Індустрія 4.0 орієнтована на розумні продукти, процедури та процеси, тобто на «розумне виробництво» [5]. Тому ключовим елементом Індустрії 4.0 є «**розумна фабрика**», яка може стати причиною трансформації будь-якої міжнародної діяльності. Розумна фабрика зможе контролювати складність, що швидко зростає, а також підвищить ефективність виробництва. На розумній фабриці може існувати

прямий зв'язок між людиною, машиною та ресурсами. Розумні продукти будуть знати свій виробничий процес і майбутнє застосування. Маючи ці знання, вона зможе активно підтримувати виробничий процес і документацію (а саме, коли був виготовлений продукт, які параметри потрібно надати, куди повинен бути доставлений). Завдяки інтерфейсам розумної мобільності, розумної логістики та розумних мереж розумна фабрика може стати важливим елементом майбутніх розумних інфраструктур, трансформуючи будь-яку міжнародну діяльність. Таким чином, звичайні ланцюжки створення вартості будуть удосконалюватися та будуть створюватися абсолютно нові бізнес-моделі.

Незважаючи на перспективні переваги, пов'язані з Індустрією 4.0, вона також створює технічні, правові, економічні та організаційні ризики для підприємств у ланцюжку створення вартості. Найважливіші з цих ризиків полягають у використанні зібраних даних у режимі реального часу, використанні виробничих потужностей, складності організації виробництва, інтеграції в ланцюг створення вартості, а також у питаннях захисту та безпеки даних [1, 6].

У ситуації, коли міжнародна компанія розглядає можливість вступу на новий ринок в умовах Індустрії 4.0, доцільно застосовувати концепцію теорії гри для проведення аналізу різноманітних стратегій введення на ринок та їх потенційних наслідків та ризиків. Це має особливе значення в умовах наявної конкуренції між компаніями на міжнародному ринку.

Теорія гри [4] - це математичний інструмент для аналізу прийняття рішень в умовах конкуренції, де кожен гравець враховує можливі дії і реакції інших гравців. У випадку вибору стратегії входу на новий ринок з використанням Індустрії 4.0, компанія має врахувати ризики, пов'язані з великими інвестиціями у нові технології, можливою необхідністю адаптації до місцевих умов та конкуренції з іншими гравцями на ринку. Також важливо враховувати можливі ризики з приводу реакції конкурентів на новий вхід на ринок та можливі наслідки для власної компанії. У ситуації з конкуренцією між компаніями на міжнародному ринку з використанням нових технологій Індустрії 4.0, теорія гри допомагає аналізувати ризики, пов'язані з можливими конфліктами і спробами отримати перевагу над конкурентами. Кожна компанія повинна врахувати можливі реакції конкурентів на свої дії та можливі наслідки для своєї власної позиції на ринку.

Розглянемо суперництво (конкуренцію) компаній в області технологічного лідерства [2]. Вихідною є ситуація, коли підприємство А мало технологічну перевагу, але у даний час має дещо менші (недостатні) фінансові кошти для необхідних наукових досліджень і розробок високотехнологічного обладнання, аніж його конкурент. Обидва підприємства повинні вирішити, чи спробувати за допомогою великих капіталовкладень домогтися домінуючого положення на світовому ринку у відповідній технологічній області. Якщо обидва конкуренти вкладуть у справу великі кошти, то перспективи на успіх у підприємства А будуть дещо кращими, хоч воно і понесе великі фінансові витрати (як і підприємство Б). На рис. 1 описана ситуація інвестування у розробку високотехнологічного обладнання із зазначенням обсягів, в умовних грошових одиницях (у.г.о.).

Підприємство А	Підприємство Б	Ухилення від участі в технологічній конкуренції	Великі витрати на розробку високотехнологічного обладнання
Невеликі витрати на розробку високотехнологічного обладнання	3	0	3
Великі витрати на розробку високотехнологічного обладнання	1	0	-2

Рисунок 1. Технологічна конкуренція в умовах Індустрії 4.0. з використанням концепції теорії гри.

Як видно з рис. 1, для підприємства А найкраще було б, аби підприємство Б відмовилося від конкуренції. Тоді вигода у цьому випадку була б 3 у.г.о. Але в такому разі, з великою ймовірністю, підприємство Б виграло б у цій конкурентній боротьбі, коли б воно прийняло більш широку програму інвестицій, а підприємство А — урізану програму. Цей стан відображено у правому верхньому квадранті матриці. Виникає як ризик нераціональних збитків, так і ризик невикористаних можливостей. Аналіз табл.1 показує, що рівновага настає при високих інвестиціях у розробку високотехнологічного обладнання підприємством Б та невеликих вкладеннях коштів підприємства А. За будь-якого іншого перебігу подій в одного з конкурентів з'являється можливість відхилитися від стратегічної цілі: для підприємства А, привабливішим є скорочення інвестицій (уникнення ризику), якщо підприємство Б відмовиться від участі у конкурентній боротьбі; однак, підприємству Б відомо, що за низьких інвестиціях конкурента йому вигідно інвестувати у розробку високотехнологічного обладнання, знижуючи тим самим ступінь ризику невикористаних можливостей.

Один із конкурентів, що має технологічну перевагу, може вдатися до аналізу ситуації на базі теорії гри, щоб визначитися з тим, як домогтися оптимального результату. Певними діями (купівля нових лабораторій, найняття на роботу додаткового науково-технічного персоналу), він має показати, що здатний піти на ризик, здійснивши великі інвестиції у розробку високотехнологічного обладнання. Якщо такий сигнал не буде надано, то для іншого конкурента (підприємства Б), більш-менш буде ясно, що конкурент (підприємство А) вибере варіант низьких витрат і намагатиметься уникнути ризику невикористаних можливостей.

З позицій теорії гри подібні заходи рівнозначні зміні ходу гри: ситуація одночасного прийняття рішень, у даному випадку, замінюється ситуацією послідовних ходів. Підприємство А однозначно ризикує, іде на великі витрати, підприємство Б фіксує цей крок і в нього немає більше сенсу вступати у конкурентну боротьбу, обтяжуючи себе ризиком можливих збитків. Нова рівновага наступе тоді, коли підприємство Б ухилитися від участі в технологічній конкуренції (ухилитися від ризику) в разі здійснення підприємством А великих витрат на розробку високотехнологічного обладнання (обтяжить себе ризиком можливих збитків).

## ВИСНОВКИ

Отже, застосування теорії гри для аналізу входу на новий ринок в умовах Індустрії 4.0 або для аналізу конкуренції на міжнародному ринку допомагає підприємствам краще розуміти можливі ризики і вигоди різних стратегій, що

дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення. На трансформаційні процеси міжнародної діяльності дуже впливає інтеграція принципів Індустрії 4.0, а саме, *впровадження високотехнологічного обладнання у виробництво*, яке забезпечує збір та аналіз даних у режимі реального часу. Це дозволяє підприємствам швидко реагувати на зміни виробничого процесу та попиту споживачів, зменшуючи ризики втрати часу та ресурсів. Також важливою є інтеграція *виробничих потужностей з мережею Інтернету речей (IoT)*, що дозволяє автоматизувати виробничі процеси та забезпечити їх ефективне використання. Це допомагає зменшити витрати на енергію та матеріали, підвищуючи конкурентоспроможність підприємства. *Організаційна складність виробництва* також потребує уваги. Підприємства повинні розробляти нові стратегії управління та навчати персонал використовувати нові технології, щоб забезпечити ефективне функціонування в умовах цифрової трансформації.

Щодо захисту та безпеки даних, підприємства повинні *інвестувати в кіберзахист та розробляти стратегії збереження конфіденційності та цілісності даних*. Це дозволить уникнути можливих кібератак та ризику витоку конфіденційної інформації, що може завдати серйозної шкоди репутації підприємства на міжнародному рівні.

Загалом, інтеграція принципів Індустрії 4.0 вимагає комплексного підходу до управління ризиками та використання нових технологій для досягнення конкурентної переваги в глобальному бізнес-середовищі і теорія гри є дієвим інструментом для цього.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Eurostat. An official website of the European Union, 2023. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- [2] WIPO IP Facts and Figures. The World Intellectual Property Organization (WIPO) [Електронний ресурс], 2023. — Режим доступу: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-943-2022-en-wipo-ip-facts-and-figures-2022.pdf>
- [3] Ключ Ю. І. Економічна ризикостійкість як основа механізму управління інноваційним розвитком підприємства [Електронний ресурс] / Ю. І. Ключ, Р. В. Водяник // Економічний вісник Донбасу. - 2022. - № 3. - С. 74-79. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecvd\\_2022\\_3\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecvd_2022_3_12)
- [4] Краснова І. В. Кліматичні ризики у фінансовому бізнесі [Електронний ресурс] / І. В. Краснова, Л. О. Примостка, В. В. Лавренюк // Проблеми економіки. - 2021. - № 3. - С.140-146. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PeKon\\_2021\\_3\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PeKon_2021_3_19)
- [5] Геєць В. М. Інституційна обумовленість інноваційних процесів у промисловому розвитку України / В.М. Геєць // Економіка України. - 2014. - № 12. С. 4–19.
- [6] Корогодова О.О. Ризики міжнародної економічної інтеграції на шляху розвитку підприємництва. / О.О. Корогодова, Н.О. Черненко, Я.І. Глущенко// Економіко-правові аспекти господарювання: сучасний стан, ефективність та перспективи: матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, 22-23 вересня 2023 р.). – Одеса, 2023. 610 с.

## УДК 657.1

Д.О. Горошотченко, студент гр. УС-11, к.е.н., доц. Скоробогатова Н.Є.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ФІНАНСОВА ЗВІТНІСТЬ ЯК ДЖЕРЕЛО ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ В КОНТЕКСТІ ІНДУСТРІЇ 4.0**

**Анотація.** У даній статті досліджено можливості використання форм фінансової звітності як джерела отримання даних про фінансовий стан підприємства (у т.ч. приладобудівного) для розробки плану (стратегії) його подальшого розвитку в умовах зростання рівня міжнародної конкурентоспроможності. Запропоновано схему (послідовній) дій для побудови ефективної моделі прийняття та моніторингу управлінських рішень підприємствами галузі. Дана робота демонструє як саме наявність налагодженої фінансової звітності впливає на можливості підприємства щодо оцінки аспектів його конкурентоспроможності.

**Ключові слова:** фінансова звітність, бухгалтерська звітність, міжнародна конкурентоспроможність, приладобудування, підприємство, стратегія розвитку.

## **ВСТУП**

У динамічному та мінливому глобальному середовищі промислові компанії, які прагнуть розширити свою присутність та закріпитися на міжнародних ринках, мають долати низку економічних, логістичних та нормативно-правових викликів. Надійна система фінансового обліку слугує цінним компасом, що спрямовує підприємства в розробці та впровадженні ефективних стратегій міжнародного розвитку та підвищення міжнародної конкурентоспроможності. Зведена інформація, що характеризує забезпеченість підприємства ресурсами, обсяг заборгованості та власного капіталу, а також отримані фінансові результати за звітний період, дозволяє здійснити структурний та динамічний аналіз звітності. Використання коефіцієнтного аналізу надає можливість комплексно проаналізувати отримані результати діяльності за поточний період у порівнянні з попередніми та еталонними. Саме фінансова звітність підприємств є надійним джерелом інформації для розробки стратегії розвитку підприємства, у т.ч. приладобудівного. Використання технологій Індустрії 4.0 дозволяє значно спростити процедури бухгалтерського обліку та аналізу, що позначиться на ефективності діяльності підприємства.

## **ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ**

Фінансова (бухгалтерська) звітність є важливою складовою функціонування будь-якого підприємства, в тому числі промислового, якими і є приладобудівні фірми. Вона містить дані, необхідні для точної оцінки поточного стану діяльності підприємства та його фінансових можливостей, а також – перспектив його розвитку. Дані, які містяться у звітах про фінансовий стан, сукупний дохід, рух грошових коштів та власний капітал підприємства, є фундаментом для розрахунку та оцінки низки важливих економічних показників його діяльності [1]. До таких показників можна віднести наступні: чистий прибуток, ліквідність підприємства (здатність виконувати свої короткострокові (поточні) зобов'язання за рахунок своїх поточних активів) [2], платоспроможність (наявність у підприємства грошових коштів та їх еквівалентів для виконання розрахунків за поточною кредиторською заборгованістю [3], фінансова стійкість підприємства (здатність підприємства здійснювати свою діяльність в напрямку розвитку, при цьому зберігати рівновагу власних активів і пасивів у середовищі, яке постійно

змінюється) [4], рентабельність, тощо.

Приладобудування – це доволі наукомістка галузь промисловості, і тому є досить перспективним напрямом розвитку міжнародної конкурентоспроможності країн, що мають неабиякий науковий потенціал. У перелік таких країн слід включити й Україну [5, с. 3]. Як свідчать статистичні дані та інформація міжнародних рейтингових агентств, наша країна має високий рівень наукового та кадрового потенціалу, високорозвинений сектор ІКТ, що є базою для оптимізації виробничих та управлінських процесів на приладобудівних підприємствах в умовах Індустрії 4.0.

Бухгалтерська звітність дає змогу детально вивчити та проаналізувати економічне середовище того чи іншого підприємства, що працює у галузі приладобудування, також допомагаючи оцінити конкурентні переваги фірми та її продукції, у порівнянні з закордонними представниками виробництва приладів. Як було зазначено вище, приладобудування є наукомісткою галуззю виробництва, тому приладобудівні підприємства чи не найчастіше використовують нематеріальні активи, як наприклад: патенти, ліцензії, тощо. Наявність активів подібного характеру є важливим фактором в оцінці міжнародної конкурентоспроможності компанії, тож мають відобразитися у її фінансовій звітності. Оскільки темпи пришвидшення науково-технічного прогресу з часом лише зростають, приладобудівні підприємства повинні постійно інвестувати в дослідження та розробки, щоб залишатися конкурентоспроможними на світовому ринку. Звіти, що демонструють результати підприємства за певний період, дозволяють побачити та проаналізувати ефективність інвестицій у технології та інновації, що грають важливу роль у виробничому процесі приладобудівної галузі. Користуючись інформацією, що міститься у бухгалтерських звітах, менеджмент підприємства розроблятиме оптимальну фінансову стратегію щодо його розвитку.

Міжнародна конкурентоспроможність підприємства характеризується, в тому числі й наявністю міжнародних партнерів та обсягом залучення іноземних інвестицій. Детальна фінансова звітність впливає на цей фактор таким чином, що вона підвищує прозорість фінансової інформації. Це дозволяє потенційним інвесторам, кредиторам та іншим зацікавленим особам отримати більш повну та достовірну інформацію про фінансове становище заводу, фабрики, науково-виробничого об'єднання, тощо. Тож, добре налагоджена система фінансового обліку демонструє прихильність компанії до прозорості та фінансової дисципліни, що підвищує її шанси на акумуляцію необхідного капіталу для розширення присутності на міжнародних ринках. Прямий зв'язок між веденням повного обліку фінансових показників підприємства та економічною вигодою можна простежити у тому, що забезпечується більш достовірна оцінка ринкової вартості підприємства і відповідно підвищується його рейтинг на ринку капіталу, зростає курс випущених ним в обіг цінних паперів [5].

Ще одним фактором, що вказує на важливість фінансової звітності у прийнятті управлінських рішень, це прогнозування ризиків та їх аналіз. У все більш взаємопов'язаній глобальній економіці промислові компанії стикаються з різними політичними та економічними ризиками, пов'язаними з міжнародними

операціями. Детальні системи фінансового обліку дають підприємствам змогу аналізувати ці ризики, розробляти плани на випадок непередбачуваних ситуацій і пом'якшувати потенційні негативні наслідки. Наприклад, маючи статистику, що включає в себе розподіл ринків дистрибуції по регіонах, політичний та економічний клімат цільових ринків стає більш зрозумілим та передбачуваним. Тож, вітчизняні підприємства можуть завчасно підготуватися до потенційних збоїв, таких як коливання валютних курсів, торговельні бар'єри або зміни в законодавстві. Впровадження засобів автоматизації та необхідного програмного забезпечення дозволить обробляти та зберігати значний масив даних, що дозволить суттєво підвищити якість техніко-економічного аналізу та приймати обґрунтовані управлінські рішення. Зокрема, при побудові ефективної моделі розробки управлінських рішень на основі використання інформації з фінансових звітів пропонуємо застосовувати наступну послідовність дій:

Етап 1 – збір та обробка фінансової інформації (форми фінансової звітності (баланс, звіт про прибутки та збитки та інші фінансові відомості) збирається та обробляється бухгалтерією компанії).

Етап 2 – фінансова аналітика (фінансові аналітики підприємства вивчають фінансову звітність для обчислення ключових фінансових показників та виявлення тенденцій).

Етап 3 – виявлення фінансових проблем (фінансова звітність використовується для виявлення можливих фінансових проблем, ризиків та слабких сторін, що можуть впливати на діяльність компанії).

Етап 4 – управлінське планування (на основі аналізу фінансової звітності розробляються управлінські стратегії та плани для оптимізації фінансової ефективності).

Етап 5 – прийняття управлінських рішень (топ-менеджмент та управлінські кадри використовують фінансову інформацію для прийняття стратегічних та оперативних рішень)

Етап 6 – моніторинг та оцінка результатів (фінансова звітність служить основою для моніторингу виконання стратегій та оцінки результатів).

Етап 7 – корекція стратегій (у випадку необхідності, на основі фінансової інформації вносяться корективи в управлінські стратегії та рішення).

Фінансова звітність також може використовуватися для публічної звітності перед зацікавленими сторонами, такими як інвестори, акціонери, аналітики, регулятори та інші.

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином, в результаті дослідження розкрито важливість фінансової звітності в розробці та прийнятті управлінських рішень на приладобудівних підприємствах. Запропонована схема ефективної моделі використання фінансової звітності як основи для визначення ключових рішень та моніторингу в процесі їх досягнення дозволить підвищити конкурентоспроможність підприємств даної галузі. Вважаємо, що результатами впливу фінансової звітності на стратегічне планування в умовах глобальної конкуренції, можна виокремити наступні:

- Узгодження стратегічних цілей з фінансовими можливостями. Фінансові дані формують стратегічні цілі та завдання компанії, гарантуючи, що вони реалістичні та досяжні з урахуванням обмежень її фінансових ресурсів;
- Визначення пріоритетності інвестицій та розподіл ресурсів. На основі фінансового аналізу компанія може визначити пріоритетні напрямки для інвестицій, такі як дослідження і розробки, маркетинг або підвищення виробничої ефективності, щоб посилити свою конкурентну позицію;
- Визначення чинників витрат і можливостей їх оптимізації. Ретельний аналіз фінансової звітності може виявити області надмірних витрат або неефективного розподілу ресурсів. Ця інформація може слугувати орієнтиром для цілеспрямованих заходів зі скорочення витрат, покращення операційної діяльності та оптимізації ресурсів для підвищення прибутковості;
- Створення стійкого фінансового фундаменту для розвитку. Добре структурований фінансовий план забезпечує міцну базу для сталого зростання, дозволяючи приладобудівним підприємствам інвестувати в інновації, розширювати присутність на вітчизняному та зарубіжних ринках, а також стійко переносити економічні коливання різного характеру.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Дослідження ролі фінансової звітності в процесі прийняття управлінських рішень : стаття / Демко І., Шурпенкова Р.; Uniwersytet Kazimierza Wielkiego. – 2016 – 10 с.
- [2] Ліквідність підприємства: економічна сутність та необхідність управління : стаття / Шевченко О.А.; Вінницький національний технічний університет – 4 с.
- [3] Платоспроможність підприємства та формування системи її забезпечення : стаття / Майборода О.Є., Косарева І.П., Лесняк А.О.; Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського. – 2017 – 5 с.
- [4] Фінансова стійкість як передумова інноваційного розвитку підприємства : стаття / Левкович О.В., Калашнікова Ю.М.; Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара. – 2021 – 6 с.
- [5] Підвищення міжнародної конкурентоспроможності підприємств приладобудування (на прикладі ТОВ “Телекарт-Прилад”) : випускна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра / Гіляль А.С.; Одеський національний економічний університет. – Одеса, 2016 – 71 с.



УДК 621.311

О.О. Зробок, аспірант гр. УС-21ф, д.т.н., проф. Гавриш О.А.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ПРИЛАДІВ ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ НА РИНКУ ЄС**

**Анотація.** Результати дослідження вказують на важливість технологічної конкурентоспроможності енергетичного сектору, особливо в контексті інтеграції України в європейський ринок енергії. Виявлено, що техніко-технологічні та інженерні рішення та їх оптимізація й автоматизація в контексті процесів енергетичного приладобудування стають прогресивними факторами міжнародної конкурентоспроможності. За результатами дослідження встановлено, що в Україні спостерігається збільшення інвестицій у сферу автоматизації електроенергетичних приладів. Особливу увагу приділено ролі штучного інтелекту та великих даних у формуванні сталого енергетичного сектору. Визначено, що технології Штучного інтелекту та використання метрик Big Data в електротехнічних приладах сприяють покращенню конкурентоспроможності та оптимізації виробництва, розподілу та споживання електроенергії. Дослідження також вказує на переваги використання теорії активної фільтрації для зменшення втрат при передачі електроенергії, що сприяє покращенню якості постачання та зниженню витрат на виробництво. Зроблено висновок, що впровадження автоматизованих систем управління в енергетичному секторі, зокрема в малих гідроелектростанціях, може забезпечити оптимізацію роботи системи, підвищення надійності та безпеки, а також ефективне використання ресурсів.

**Ключові слова:** міжнародна технологічна конкурентоспроможність, автоматизація інженерних рішень, Індустрія 4.0, електроенергетичний прилад, електроенергетична система, енергетичний сектор, фактор підвищення міжнародної конкурентоспроможності.

### **ВСТУП**

Високотехнологічна та інноваційна трансформація економіки й суспільства в умовах неоіндустріалізації та глобалізації ставить перед енергетичним сектором України низку важливих завдань та викликів. В умовах повномасштабної війни важливо не лише забезпечити надійність та стабільність енергопостачання, але й активно впроваджувати автоматизацію інженерних рішень у процесах приладобудування. Технологічна конкурентоспроможність енергетичного сектору України на ринку Європейського Союзу стає визначальним фактором у забезпеченні сталого розвитку та привабливості для інвесторів у турбулентному світі з високою швидкістю технологічних змін. Вдосконалення і оптимізація інженерних процесів через впровадження автоматизованих рішень не лише забезпечує енергоефективність, але й розширює можливості енергосектору відповідати вимогам та стандартам ринку ЄС четвертого переходу. У цьому контексті, дослідження автоматизації інженерних рішень в приладобудуванні виявляється важливим завданням, щоб забезпечити високий технологічний рівень експлуатації енергетичних об'єктів України на шляху до успішної інтеграції в європейське співтовариство.

### **ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ**

Важливий аспект наукових досліджень в енергетичному секторі – застосування автоматизації та роботизації. Статті J. Konieczny [1] та E.C. Fox [2], присвячені застосуванню автоматизації та робототехніки в енергетичних системах, підкреслюють важливість цих технологій для вирішення глобальних енергетичних викликів. Науковці F. Ponci, A. Sadu, et. al. [3] також звертають увагу на інструментування в реальному часі для автоматизації складних енергетичних систем. Це відкриває можливості для ефективного моніторингу та

контролю в реальному часі. Зокрема особливої уваги заслуговує праця J. Kopieczny [1], яка висвітлює важливість автоматизації та роботизації в сучасних енергетичних системах. Спеціальний акцент робиться на взаємодії робототехніки та автоматизації з іншими аспектами енергетичних систем. У цій науковій праці зазначено, що інтеграція автоматизованих систем в енергетику дозволяє оптимізувати виробничі процеси, підвищуючи ефективність та забезпечуючи стабільну роботу систем енергопостачання.

Згідно з монографією авторства М.Ю. Артеменка, В.М. Михальського та І.А. Шаповала [4], активні фільтри використовуються для мінімізації потужності втрат в лінії електропередачі. Роль цих електротехнічних пристроїв полягає в компенсації навантаження, що виникає через неідеальність лінії та інших складових системи. Активні фільтри намагаються усунути або зменшити несиметричні струми, гармоніки і реактивну потужність, тим самим покращуючи параметри лінії передачі.

Особливу увагу питанню автоматизації електроенергетичних приладів в енергетичному секторі вчені приділяють стосовно гідроенергетики. Так, стаття, написана П.Д. Лежнюком та ін. [5], висвітлює розробку ієрархічної автоматичної системи керування (АСК) для малих гідроелектростанцій (МГЕС) з метою підвищення їхньої ефективності в енергосистемі для підвищення технологічної конкурентоспроможності енергетичного сектору. Стаття акцентує увагу на технічних аспектах автоматизації, включаючи системи управління, моніторингу та контролю параметрів МГЕС. Зазначається, що використання автоматизованих систем на МГЕС може значно покращити їх роботу та забезпечити ефективне використання енергетичних ресурсів. Основні висновки статті підкреслюють значущість впровадження автоматизації для оптимізації роботи гідроелектростанцій, зокрема в контексті економії енергії та стабільної їхньої роботи. Також стаття О.М. Довгалюк та ін. [6] надає додаткову інформацію щодо використання автоматизації для підвищення ефективності роботи МГЕС.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Під технологічною конкурентоспроможністю, на основі аналізу вказаних джерел [1-6], пропонуємо розуміти здатність енергетичного сектору, його галузей та окремих підприємств ефективно використовувати техніко-технологічні та інженерні рішення й принципи енергетичного менеджменту для здобуття конкурентних переваг на міжнародних ринках. У контексті обраної теми дослідження ці конкурентні переваги можуть включати в себе впровадження інновацій в енергетичне приладобудування, оптимізацію та автоматизацію технологічних процесів енергетичного приладобудування, а також ефективне управління цими процесами.

Важливість набуття цих конкурентних переваг саме на енергетичному ринку ЄС пов'язана із синхронізацією України з енергетичною системою ENTSO-E. Як наслідок, Україна розпочала повноцінну інтеграцію в європейський ринок у 2022 р., що вимагає автоматизації інженерних рішень у електротехнічному приладобудуванні. Саме тому в Україні спостерігається зростання інвестицій у напрям автоматизації електроенергетичних приладів в

енергетичній системі, яка характеризується значним ступенем зносу та руйнування в умовах регулярних повітряних атак з боку РФ та потребує капітальної модернізації.

Також констатуємо зростання ролі штучного інтелекту в формуванні майбутнього сталого енергетичного сектору. Інноваційні технології приладобудування на базі штучного інтелекту та зростаючий попит на енергію створюють новаторські шляхи для досягнення сталості технологічної конкурентоспроможності енергетичного сектору на ринку ЄС. Інша сфера досліджень полягає у ролі великих даних (Big Data) у покращенні міжнародної конкурентоспроможності енергетичного сектору через важливість метрик великих даних в автоматизації електроенергетичних приладів.

Окрім цього, застосування штучного інтелекту та метрик Big Data в електротехнічних приладах дозволяє оптимізувати виробництво, постачання, розподіл та споживання електроенергії, що дає змогу удосконалити механізм міжнародної конкурентоспроможності енергетичного сектору в контексті вичерпання енергетичних ресурсів та деградації природного середовища.

На основі аналізу монографії [4], пропонується теза, що мінімізація потужності втрат в лінії передачі може позитивно вплинути на обсяг експорту електроенергії.

Такий результат, вірогідно, пов'язаний з такими процесами:

1) підвищення ефективності енергосистеми: зменшення втрат при передачі дозволяє збільшити загальний обсяг електроенергії, який може бути доступний для експорту;

2) покращення якості електропостачання: активні фільтри допомагають зберігати стабільність напруги та знижувати гармонічні спотворення, що сприяє покращенню якості електропостачання;

3) зниження витрат на виробництво електроенергії: зменшення втрат може допомогти знизити витрати на виробництво електроенергії, роблячи енергетичний сектор більш конкурентоспроможним.

Узагальнюючи, застосування теорії активної фільтрації спрямоване на оптимізацію роботи ліній електропередачі та покращення різних параметрів електроенергетичної системи, що потенційно може позитивно вплинути на обсяг експорту електроенергії.

У контексті підвищення ефективності діяльності енергетичного сектору, можна визначити, що впровадження автоматизованих систем керування в малі гідроелектростанції [5-6] може сприяти отриманню таких конкурентних переваг:

1) оптимізація роботи енергетичної системи: автоматизація дозволяє більш ефективно керувати роботою малих ГЕС, забезпечуючи оптимальне використання їх потужності та ресурсів;

2) підвищення надійності та безпеки енергосистеми: автоматизовані системи можуть забезпечити надійний та безпечний режим роботи, уникати аварій та забезпечувати автоматичну реакцію на зміни у виробничих умовах;

3) більш ефективне використання ресурсів: автоматизація може сприяти ефективнішому використанню енергії та ресурсів, що в результаті призведе до зменшення витрат та підвищення загальної продуктивності.

## ВИСНОВКИ

Таким чином, автоматизація в приладобудуванні в контексті енергетики визначається як впровадження технологічних рішень для оптимізації та автоматизації виробничих процесів у сфері енергетики. Автоматизація електроенергетичних приладів як фактор відіграє значну роль у підвищенні технологічної конкурентоспроможності енергетичного сектору на міжнародному ринку ЄС, оскільки вона дозволяє підвищити ефективність виробництва, знизити витрати та покращити якість продукції. Автоматизація приладобудування буде продовжувати відігравати важливу роль у розвитку енергетики, оскільки енергетичний сектор переживає значущі трансформації в умовах євроінтеграції, цифровізації та впровадження компонентів Індустрії 4.0 та Society 5.0. У майбутньому очікується подальше зростання інвестицій у ці напрямки, а також розвиток нових високих технологій автоматизації на основі інтеграції кіберфізіологічного приладу та людської думки. Саме тому уряду України необхідно продовжувати розвивати цей напрям, щоб утримати свої конкурентні позиції на світовому ринку енергії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Konieczny, J. (2021-2022). Special Issue "Automation and Robotics Application in Energy Systems". MDPI journals. Retrieved from [https://www.mdpi.com/journal/energies/special\\_issues/Automation\\_and\\_Robotics](https://www.mdpi.com/journal/energies/special_issues/Automation_and_Robotics) (accessed on 08 December 2023).
- [2] Fox, E.C. (2009). The roles automation and robotics can play in resolving global energy issues. IEEE/RSJ international conference on Intelligent robots and systems. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/262286496\\_The\\_roles\\_automation\\_and\\_robotics\\_can\\_play\\_in\\_resolving\\_global\\_energy\\_issues](https://www.researchgate.net/publication/262286496_The_roles_automation_and_robotics_can_play_in_resolving_global_energy_issues) (accessed on 08 December 2023).
- [3] Ponci, F., Sadu, A., Uhl, R., Mirz, M., et. al. (2018). Instrumentation and measurement testing in the real-Time lab for automation of complex power systems. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. 21. 17-24. DOI: 10.1109/MIM.2018.8278805.
- [4] Артеменко М.Ю., Михальський В.М., Шаповал І.А. Теорія активної фільтрації багатofазних систем електроживлення, спрямована на мінімізацію потужності втрат в лінії передачі. Монографія: Київ, Інститут електродинаміки НАН України. 2021. 235 с.
- [5] Lezhnyuk, P., Ngoma, J.-P., & Kilimchuk, A. (2015). "Automation of small hydro power plants as mean of increase the efficiency of their operation in electrical network", Works of VNTU. 3. Retrieved from <https://works.vntu.edu.ua/index.php/works/article/view/87/87> (accessed on 08 December 2023).
- [6] Довгалюк О.М., Лазуренко О.П., Жуков Ю.О., Лухтура М.І. та ін. Застосування малих ГЕС для забезпечення резерву потужності в час пік електроенергетичної системи. Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Енергетика: надійність та енергоефективність. 2018. 10 (1286). URL: (дата звернення: 08.12.2023).

УДК 339.92

А.Л. Симоненко, студ. гр. УС-21, к.е.н., доц. Черненко Н.О.,  
к.е.н., доц. Глущенко Я.І.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## РОЛЬ СТРАХУВАННЯ У МІЖНАРОДНОМУ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОМУ СПІВРОБІТНИЦТВІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0.

**Анотація.** Страхування відіграє важливу роль у міжнародному науково-технічному співробітництві в умовах Індустрії 4.0, оскільки цей тип співробітництва вимагає великих інвестицій у нові технології, інновації та розвиток. Індустрія 4.0 характеризується використанням інтернету речей, штучного інтелекту, великих даних та інших передових технологій для автоматизації та оптимізації виробничих процесів

**Ключові слова:** страхування, міжнародне науково-технічне співробітництво, індустрія 4.0, нові технології, оптимізація виробничих процесів

### ВСТУП

Міжнародне науково-технічне співробітництво (МНТС) є важливим фактором розвитку науки та технологій у світі. Воно сприяє обміну ідеями, технологіями та досвідом між країнами, а також підвищенню їхньої конкурентоспроможності.

### МЕТА

В умовах МНТС Індустрія 4.0 набуває нового значення. Розвиток нових технологій, таких як штучний інтелект, автоматизація та робототехніка, вимагає значних інвестицій і ризиків. І в цьому випадку страхування може допомогти зменшити ці ризики і стимулювати розвиток МНТС.

Варто зазначити, що страхування відіграє важливу роль у міжнародному науково-технічному співробітництві, а особливо, в умовах Індустрії 4.0, оскільки цей тип співробітництва вимагає великих інвестицій у нові технології, інновації та розвиток. Отже, страхування - це вид фінансових послуг, який передбачає передачу ризику від одного суб'єкта іншому [1,3]. Страховик за плату, яку сплачує страхувальник (страховий внесок), бере на себе зобов'язання відшкодувати страхувальнику збитки, які він зазнав унаслідок страхового випадку. Таким чином, страхування може допомогти зменшити ризики, пов'язані з міжнародним науково-технічним співробітництвом, а саме при: *фінансових ризиках*, МНТС часто вимагає значних інвестицій, які можуть бути втрачені внаслідок форс-мажорних обставин, таких як природний катаклізм або політична нестабільність. Тому саме страхування може захистити інвесторів від цих ризиків [1,2]; *юридичних ризиках*, МНТС часто пов'язане з підписанням складних договорів і угод. Страхування може захистити учасників МНТС від юридичних ризиків, таких як порушення контракту або недобросовісна конкуренція. За даними дослідження, проведеного компанією Willis Towers Watson, у 2022 році близько 40% учасників МНТС в усьому світі використовували страхові продукти для захисту від юридичних ризиків [3,5]; *технологічні ризики*, розвиток нових технологій завжди пов'язаний з певними ризиками, такими як непередбачуваність результатів або технічні несправності. За даними дослідження, проведеного компанією Aon, у 2022 році близько 30% учасників МНТС в усьому світі використовували страхові продукти для захисту від

технологічних ризиків [4,6].

Для прийняття рішень щодо страхування подій пов'язаних з міжнародним науково-технічним співробітництвом в умовах Індустрії 4.0. можна використовувати Діаграму Парето або правило 80/20 [3,4]. Де, 20% видів страхових подій можуть призводити до 80% фінансових збитків. Таким чином, діаграма Парето може показати, які конкретні види страхування є найбільш важливими для покриття основних ризиків в індустрії 4.0 та міжнародному науково-технічному співробітництві. Ця діаграма може допомогти страховикам і страхувальникам зосередитися на найбільш критичних областях страхування, щоб забезпечити надійний захист в умовах швидкого технологічного розвитку, якщо на осі X відображається види страхових подій чи ризиків, а на осі Y - відсоток загальних ризиків, які припадають на певні види страхування.

Страхування також може стимулювати розвиток МНТС в умовах Індустрії 4.0., надавши учасникам МНТС більшу впевненість у майбутньому. Воно може допомогти залучити додаткові інвестиції в МНТС і зробити його більш доступним, в умовах Індустрії 4.0., для малих і середніх підприємств.

На основі аналізу міжнародної практики [4] можна виділити такі основні тенденції в розвитку страхування МНТС враховуючі умови Індустрії 4.0.:

Всесвітня організація інтелектуальної власності (WIPO), у 2022 році оприлюднила інформацію [7] **про обсяги страхування МНТС** у світі, вони становили близько 50 мільярдів доларів США. Очікується, що цей показник буде зростати в середньому на 10% щорічно.

Варто відзначити, що страхові компанії розробляють **нові страхові продукти**, які відповідають специфічним потребам учасників міжнародного науково-технічного співробітництва, враховуючі умови Індустрії 4.0. Так, з'являються страхові продукти, які покривають ризики, пов'язані з штучним інтелектом, робототехнікою та іншими технологіями Індустрія 4.0. Страхові компанії з різних країн об'єднуються **для створення спільних страхових продуктів і програм** для МНТС. Це дозволяє забезпечити більшу доступність і конкурентоспроможність страхового захисту для учасників МНТС.

Ці тенденції свідчать про те, що страхування буде відігравати все більш важливу роль у міжнародному науково-технічному співробітництві в умовах Індустрії 4.0. Отже, при таких умовах, розвиток нових технологій, таких як штучний інтелект, автоматизація та робототехніка, вимагає значних капітальних вкладень, інвестицій, які можуть бути втрачені внаслідок форс-мажорних обставин, таких як природний катаклізм або політична нестабільність, а це певний ризик, який треба мінімізувати.

Так, у 2022 році вартість одного проекту з розробки штучного інтелекту становила від 100 мільйонів до 1 мільярда доларів США [4,6]. Також розвиток нових технологій часто пов'язаний з підписанням складних договорів і угод. У тому ж 2022 році в рамках МНТС було укладено близько 100 тисяч договорів з передачі технологій. Також не варто забувати і про ризик, як непередбачуваність результатів або технічні несправності. Минулого року в рамках МНТС було зареєстровано близько 100 тисяч випадків невдалих результатів досліджень. У той же час обсяги страхування МНТС у світі становили близько 50 мільярдів

доларів США [5,6].

В умовах глобальної економіки МНТС є важливим фактором конкурентоспроможності країни. Страхування може допомогти учасникам МНТС зменшити ризики і підвищити свої шанси на успіх, а саме: знизити ризики банкрутства, що робить їх більш привабливими для інвесторів і буде сприяти залученню додаткових інвестицій; підвищити доступності МНТС для малих і середніх підприємств, які часто не мають достатніх ресурсів для самостійного управління ризиками.

Отже, значні інвестиції в нові технології в умовах Індустрії 4.0 підкреслюють важливість розуміння та впровадження страхових механізмів у міжнародному науково-технічному співробітництві. Ризики, пов'язані з високим рівнем технологічних інновацій та інвестицій, потребують ефективного фінансового захисту. Страхування виступає ключовим інструментом для стабільності та витривалості проектів, зменшення фінансових ризиків і реакції на непередбачені події. Страхові продукти, адаптовані до Індустрії 4.0, такі як захист від кіберзагроз, стають важливим елементом стратегії безпеки міжнародних науково-технічних проектів. Недоцільність ефективного управління ризиками може призвести до серйозних втрат для компаній та наукових спільнот.

Страхування виступає як засіб захисту, сприяючи стабільності та успіху інноваційних проектів. Розширення страхового портфеля та постійне вдосконалення полісів забезпечать належний рівень захисту та збережуть довіру у міжнародному науково-технічному співробітництві. Активна реалізація страхових рішень у міжнародному науково-технічному співробітництві в умовах Індустрії 4.0 є важливою складовою успіху та сталості інноваційних проектів, що буде сприяти фінансовому фундаменту для технологічного прогресу та глобального співробітництва.

## **ВИСНОВОК**

Таким чином, страхування є важливим інструментом для зменшення ризиків і підтримки розвитку міжнародного науково-технічного співробітництва в умовах Індустрії 4.0. Воно дозволяє страхувальникам передавати ризики страховикам і отримувати за це захист від можливих фінансових збитків. Страхування може стати важливим інструментом для забезпечення стабільності та безпеки в умовах швидкого технологічного розвитку.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Страхування у міжнародному науково-технічному співробітництві: нормативно-правові аспекти. Державний комітет з питань науки, інновацій та інтелектуальної власності, 2023. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.gov.ua/rada/uk/z/2023/10/10/p20231010-15>
- [2] Страхування у науково-технічному співробітництві: рекомендації для бізнесу. Звіт Європейської комісії, 2023. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/commission-position-on-insurance-for-research-and-development\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/commission-position-on-insurance-for-research-and-development_en.pdf)

- [3] Закон України «Про наукову і науково-технічну діяльність»: (офіц. текст: за станом на 27.07. 2023р.). [Електронний ресурс] / Відомості Верховної Ради України. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-19#Text>
- [4] Страхування у контексті індустрії 4.0. Міжнародна організація з стандартизації, 2023 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:pub:PUB50001:en>
- [5] Страхування у міжнародному науково-технічному співробітництві: досвід та рекомендації ООН [Електронний ресурс], 2023. — Режим доступу: <https://www.un.org/ru/sustainable-development/technology-innovation/insurance/>
- [6] Страхування у контексті індустрії 4.0: новий підхід до забезпечення стабільності. Форчунт, 2023 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.forefront.com/insights/insurance-in-the-age-of-industry-4-0/>
- [7] WIPO IP Facts and Figures. The World Intellectual Property Organization (WIPO) [Електронний ресурс], 2023. — Режим доступу: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-943-2022-en-wipo-ip-facts-and-figures-2022.pdf>



УДК 330.354

Н.Є. Скоробогатова, к.е.н., доц., Т.В. Іванова, к.е.н., доц.,  
К.В. Петренко, к.е.н., доц.,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ ІКТ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ БІЗНЕСУ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0

**Анотація.** Дане дослідження фокусується на оцінці впливу використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) на ефективність бізнесу в умовах Індустрії 4.0. В контексті швидкого розвитку технологій та змін у парадигмі виробництва досліджується, як сучасні підприємства впроваджують ІКТ для оптимізації різноманітних бізнес-процесів. Аналізується вплив ІКТ на ключові галузі, такі як виробництво, маркетинг, управління ланцюгом постачання та взаємодія з клієнтами. У дослідженні висвітлюються різні аспекти оцінки ефективності використання ІКТ, зокрема використання ключових показників продуктивності, стратегічного прогнозування та здатності адаптуватися до змін. Звертається увага на методи та критерії оцінки, враховуючи специфіку впровадження технологій в умовах Індустрії 4.0.

Здійснюється аналіз викликів та можливостей, що виникають при впровадженні ІКТ в умовах Індустрії 4.0, а також розглядається перспектива подальшого розвитку цього напрямку для підприємств у пошуку конкурентних переваг. Визначено проблемні моменти для розвитку інформаційно-комунікаційних послуг України в умовах війни

**Ключові слова:** інформаційно-комунікаційні технології, Індустрія 4.0, ефективність, невизначеність.

### ВСТУП

Розвиток комп'ютерної галузі та Інтернету призвів до значного зростання ринку інформаційно-комунікаційних послуг. Компанії різних розмірів та напрямків вибудували свої ІТ відділи, щоб мати можливість росту та впровадження нових можливостей на ринку. Технологічні та інноваційні рішення, а також прагнення до цифрової трансформації, сприяють конкурентоспроможності товарів та послуг. Майже усі підприємства стали залежними від ІТ для підвищення ефективності своєї діяльності. Глобальні події, такі як пандемія та війни, вплинули на всі сфери життя і економіки, включаючи ІКТ. Багато підприємств не були готові до глобальних змін, що призвело до перегляду їхніх бізнес-процесів. ІТ сегмент виявився більш незалежним від зовнішніх ситуацій, що стало можливим завдяки технологічним рішенням. Ринок почав постачати медичні ІТ-рішення та робочі інструменти для боротьби з пандемією, збільшуючи попит на ці послуги. Загалом, ІКТ є надзвичайно вагомими у сучасному бізнесі, що підкреслює потребу в дослідженні їхнього розвитку та оцінці ефективності їх застосування в змінному соціально-економічному контексті.

### МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є оцінити вплив використання ІКТ на ефективність бізнесу в умовах Індустрії 4.0 та надати пропозиції щодо активізації даного напрямку.

### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як свідчать аналітичні та статистичні дані, ІТ галузь визначається великим обсягом, включаючи інноваційні рішення та розробку програмного забезпечення. Це свідчить про те, що ІТ не обмежується тільки технічними аспектами, але також активно включає інновації та розробку нових технологій. Внесок ІТ у ВВП США та інших лідерів світової економіки становить значну

частку, діючи як каталізатор для розвитку стартапів та збільшення виробничої активності. В умовах Індустрії 4.0 ІКТ визначаються як ключовий фактор для економічного розвитку, створення нових робочих місць та стимулювання виробничої діяльності. Україна також активно розвиває ринок ІКТ, маючи підтримку Міністерства цифрової трансформації, що заохочує та розвиває ринок інформаційних технологій, сприяючи виходу країни у лідери за розвитком ІТ-послуг. За підсумками десяти місяців 2022 року ІТ-галузь принесла в економіку України 6 млрд доларів США експортної виручки та досягла 10% зростання у порівнянні з попереднім роком [1]. Зокрема ІКТ все більше впроваджуються у різні галузі, що дозволяє автоматизувати виробничі процеси, підвищити продуктивність виробництва, зменшити обсяги витрат та підвищити ефективність роботи підприємств. Згідно з проведеними дослідженнями, 21,7% компаній мають власних ІТ-фахівців, а ще 14,6% залучають зовнішні ресурси для виконання завдань у сфері інформаційно-комунікаційних технологій [1]. В умовах Індустрії 4.0 ІТ впливають на різні галузі через впровадження новітніх технологій, включаючи не лише виробництво, а й медицину та освіту. ІТ галузь визначається не лише технічними рішеннями, але і важливим внеском у економіку, розвиток стартапів та модернізацію інших галузей. Україна, зокрема, активно розвиває цю галузь як стратегічно важливу для свого економічного розвитку. Технічні рішення в рамках Індустрії 4.0 дозволяють вирішити питання цифрової трансформації бізнесу [2]. ІТ-галузь взаємодіє з різними секторами економіки, маючи важливий внесок у їх розвиток. Застосування технологій не тільки оптимізує традиційні процеси, але й відкриває нові можливості для ефективного використання ресурсів, розвитку інновацій та підвищення конкурентоспроможності бізнесу. Інформаційно-комунікаційні технології стають ключовим елементом економічного прогресу та сприяють формуванню більш стійкої моделі економіки. За останні 5 років, глобальна вартість ІТ-сектору продовжує зростати, роблячи його суттєвим драйвером економіки в ряді країн.

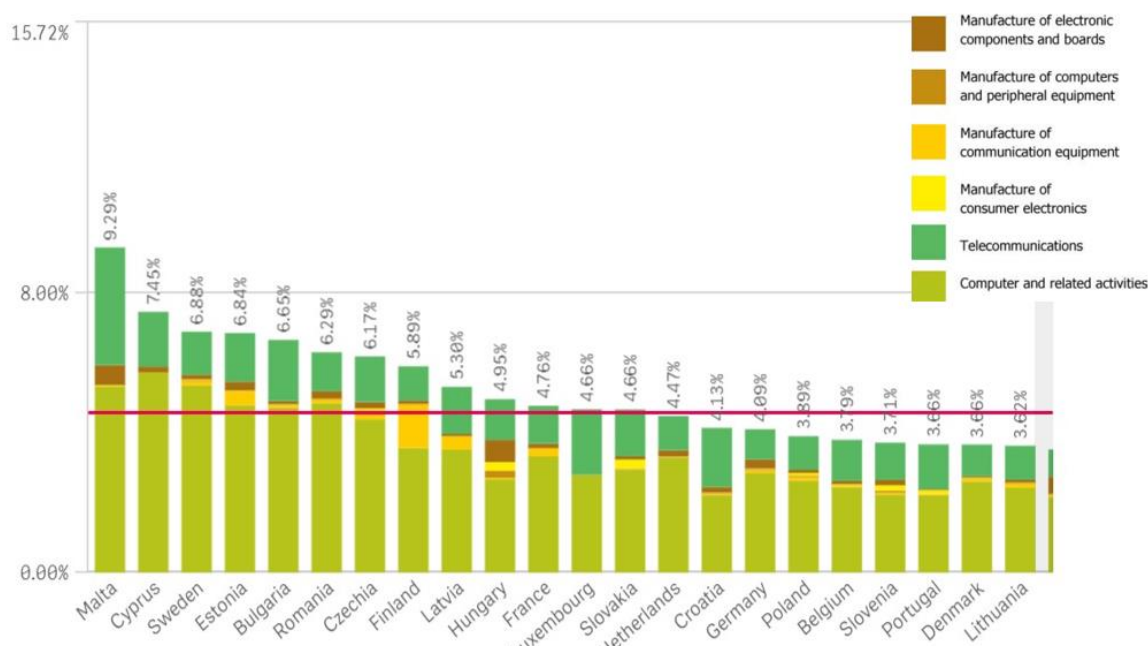


Рисунок 1. Частка ІКТ у доданій вартості країн ЄС, 2020 р. [3]

Зокрема, за даними [3], протягом останніх років додана вартість, створена у даному секторі економіки становить в середньому 4,55 % серед країн ЄС. Лідером за даним напрямом є Мальта, Кіпр, Швеція, Естонія та інші країни (рис. 1). Сприяючи розвитку електронної комерції та фінансових технологій, ІТ-галузь робить значний внесок у розширення цифрових можливостей. За останні три роки, обсяги електронної комерції зросли майже на третину. Таким чином, дана галузь стає ключовим каталізатором економічного розвитку, одночасно визначаючи нові напрями росту у низці секторів економіки.

В Україні також спостерігається тенденція до зростання та розвитку ІТ-сектору, обсяг експорту по роках наведено на рис. 2. Понад 40% виторгу за ІТ-експорт у вересні 2023 р. надійшло від США. За оцінками експертів, може покращитися, але для цього мають бути певні умови [4, 6]. На даний час до спектру ризиків відносяться такі фактори, як війна, висока облікова ставка, небажання багатьох клієнтів інвестувати в нові комплексні ІТ-продукти тощо, що спричиняє уповільнення росту ІТ-індустрії [6].

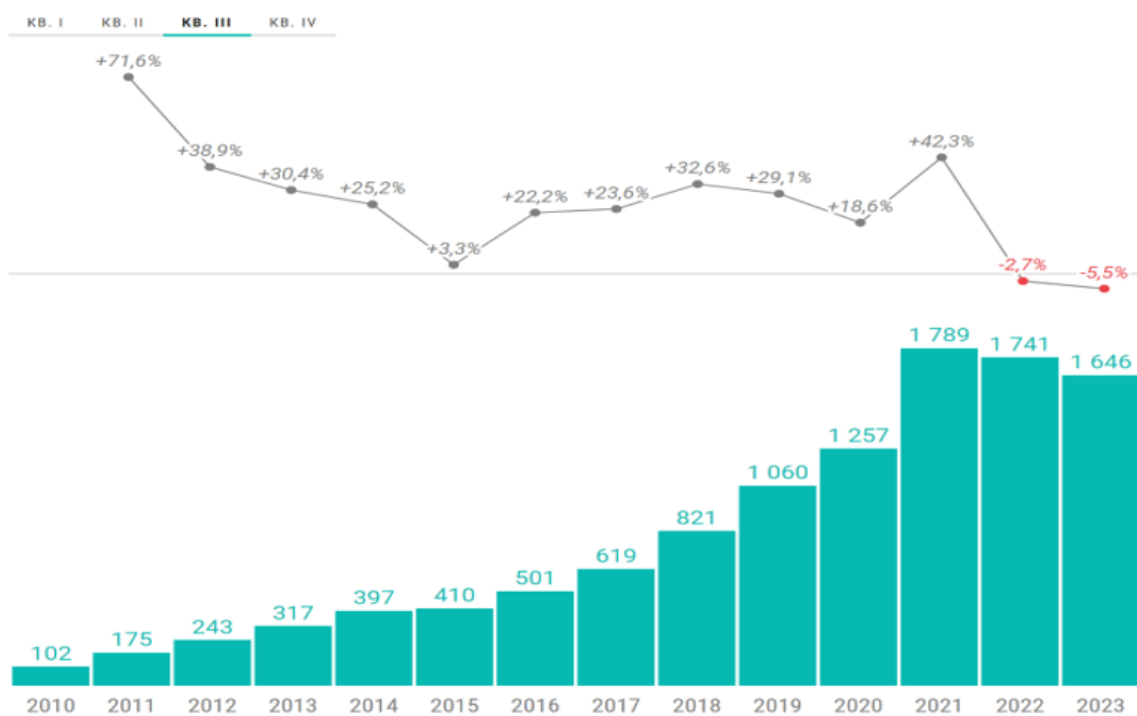


Рисунок 2. Обсяг ІТ-експорту за кварталами [4]

Глобальний ринок ІКТ також відчуває наслідки світової нестабільності. Для розвитку ІКТ потрібно вжити комплексних заходів та стратегій, які сприятимуть зміцненню інфраструктури, стимулюванню інновацій, підвищенню кваліфікації спеціалістів та забезпеченню широкого доступу до технологій. Серед основних заходів вважаємо доцільним наступні: забезпечення ефективною інфраструктури та високошвидкісного інтернету у регіонах у всіх регіонах світу, створення програм та проєктів з розвитку широкосмугового інтернету в сільських та віддалених районах; оновлення освітніх програм у навчальних закладах, заохочення досліджень і розробок у сфері технологій, надання фінансової підтримки та податкових пільг для стартапів у галузі ІТ, зміцнення міжнародного співробітництва в галузі науки, технологій та обміну досвідом, тощо. Активізація

розвитку ІКТ вимагає застосування комплексного підходу, в якому співпраця між урядовими організаціями, приватним сектором, освітніми установами та міжнародними організаціями відіграє ключову роль.

## **ВИСНОВКИ**

Результати проведеного дослідження щодо оцінки впливу використання ІКТ на ефективність бізнесу в умовах Індустрії 4.0 дозволяють виділити позитивні та негативні моменти. До позитивних результатів слід віднести зростання продуктивності, ефективності виробництва, можливість організації бізнес-процесів в онлайн форматі тощо. Водночас, високий ступінь ризику та невизначеності також позначається на даній сфері бізнесу. Стимулювання залучення інвестицій у дослідження та розробки дозволить забезпечити потрібний ресурс та кадровий потенціал для інновацій та економічного зростання бізнесу на мікрорівні та національної економіки загалом. Окрім того, цифрова трансформація на макро- та міжнародному рівнях є важливим елементом для створення національних стратегій безпеки. Специфікою даної галузі є високі ризики кіберзагрози, дотримання конфіденційності та захисту даних, тощо. Вирішення цих завдань можливе лише за умови ефективної співпраці громадян, бізнесу, урядових органів не лише в межах однієї країни, але й на міжнародному рівні. Вважаємо, що комплексне поєднання технологій Індустрії 4.0 дозволить підвищити ефективність їх застосування та конкурентоспроможність бізнесу загалом.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Вишковська С. Як ІТ-індустрія розвиває інші галузі економіки у 2022 році. URL: <https://finance.ua/ua/goodtoknow/jak-it-industrija-rozvyvae-inshi-galuzi-ekonomiky>
- [2] Скоробогатова Н.Є. Інвестиційне забезпечення інноваційного розвитку підприємств в умовах Індустрії 4.0. Економічний вісник НТУУ “КПІ”. 2021. № 18. URL: <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/241099>. DOI: <https://doi.org/10.20535/23075651.18.2021.241099>
- [3] Prospective Insights in ICT R&D 2023. URL: <https://web.jrc.ec.europa.eu/dashboard/PREDICT/index.html>
- [4] Сабадишина Ю. Тенденції ІТ-експорту. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/it-export-3-quarter-2023/>
- [5] Присяжнюк Н. Як війна і глобальний ринок впливають на експорт ІТ . URL: <https://dou.ua/lenta/articles/how-war-effects-it-export/>
- [6] Експерти прогнозують складнощі в ІТ – Interfax Ukraine URL: <https://interfax.com.ua/news/telecom/900854.html>

## УДК 338.2

*В.В. Слобоженюк, студент гр. УС-11, к.е.н., доц. Корогодова О.О.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### **ВПЛИВ ІНТЕГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА РОЗВИТОК ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ПОРТУГАЛІЇ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0**

**Анотація.** Наведено опис інтеграційних процесів в Португальській республіці. Надано характеристику економічної діяльності країни та представлено структуру експорту та імпорту. Зазначено важливість впровадження інструментів Індустрії 4.0 у бізнес-процеси підприємницьких та освітніх структур та висвітлено їхній вплив на перебіг соціально-економічних трансформацій країни. Підкреслено важливість дослідження досвіду інших країн для України, що прагне доєднатися до таких інтеграційних об'єднань, як НАТО та Європейський Союз.

**Ключові слова:** інтеграційні процеси, Індустрія 4.0, НАТО, євроінтеграція, промислові підприємства

#### **ВСТУП**

Індустрія 4.0 у глобальному порядку денному стає все більш актуальною, і багато компанії докладають зусиль для впровадження цифрових технологій у виробництво та бізнес-процеси для підвищення рівня конкурентоспроможності та ефективності. До того ж, збільшення обсягу та швидкості обміну даними між міжнародними партнерами сприяє розвитку глобальних промислових, освітніх та інноваційних екосистем, а також об'єднанню різних частин світу в єдиний цифровий глобалізований простір. Португальська республіка є однією з країн-членів Європейського Союзу та НАТО. Дослідження інтеграційних процесів у Португалії в контексті їхнього впливу на діяльність підприємств в умовах Індустрії 4.0 є актуальним, оскільки може допомогти Україні, яка прагне приєднатися до цих об'єднань, віднайти та усунути проблеми, що заважають зараз процесам інтеграції.

#### **МЕТА**

Мета дослідження полягає у висвітленні процесів міжнародної інтеграції економіки Португальської республіки в контексті Індустрії 4.0.

#### **МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Більшість галузей промисловості, підприємств та фінансових установ Португалії зосереджені в мегаполісах Лісабона та Порту. За межами цих двох міст найбільшими економічними центрами є райони Сетубал, Авейру, Брага, Коїмбра, Лейрія та Фару. Слабкість економіки пов'язана з домінуванням традиційних низькотехнологічних секторів та малого та середнього бізнесу, хоча в останні роки з'являється ряд дрібних високотехнологічних фірм [1]. Прикладом є сільське господарство в Португалії, що базується на малих і середніх сімейних домогосподарствах. Однак в секторі існує масштабне інтенсивне сільське господарство, експортоорієнтований агробізнес: Vitacress, Sovena, Lactogal, Vale da Rosa, Companhia das Lezírias і Valuro by Grupo RAR [2]. За даними FAO, Португалія є провідним виробником пробки у світі, близько 50% світового виробництва. Вона також є третім за величиною експортером каштанів і третім за величиною європейським виробником целюлози. Португалія входить до десятки найбільших виробників оливкової олії у світі та є четвертим за величиною експортером. Країна також є одним з найбільших у світі експортерів вина, 11 місце в світі [3].

Компанії, які успішно впроваджують Індустрію 4.0, мають перевагу при входженні на глобальні ринки завдяки підвищеній якості, інноваціям та ефективності своїх продуктів. Промисловість Португальської республіки диверсифікована, починаючи від автомобілів: Volkswagen Autoeuropa і Peugeot Citroën, варто зазначити, що дані компанії є підрозділами ТНК Volkswagen AG та Groupe PSA відповідно. Оскільки машинобудування є важливою галуззю для Португалії, інтеграційні процеси цього сектору мають стратегічне значення для країни. Зокрема, аерокосмічна галузь, що представлена такими компаніями, як Embraer і OGMA, є додатковим елементом міжнародної економічної інтеграції. Міста Альверка, Евора і Понте-де-Сор виступають в ролі ключових центрів португальської аерокосмічної промисловості, які очолюються бразильською компанією Embraer та португальською компанією OGMA. Ці регіони визначаються як стратегічні для аерокосмічного сектору, що сприяє розвитку високотехнологічної промисловості в Португалії.

В огляді стану промисловості Португалії за 2020р. вказується, що загальний обсяг продажів продукції та надання послуг в секторі скоротився -10,6% на внутрішньому ринку та -11,6% на зовнішньому ринку. Знизився й рівень інвестицій в обробну промисловість на 1,8% порівняно з 2019р., в 2020 р. він склав 19,5%. На обробну промисловість припадає всього 5% від загальної кількості нефінансових компаній, але вони створюють 22,5% доданої вартості. Також виділяють п'ять провідних галузей в промисловості, на які припадає 45% виробничого обороту: харчова промисловість, виробництво автомобілів, виробництво металевих виробів, виробництво коксу, нафтопродуктів, виробництво хімічної продукції. Виробництво автомобілів – це галузь, що постраждала від кризи в 2019р. майже найбільше, діяльність в 2020р. скоротилась на 19% в порівнянні з ростом на 13% в 2019р., але не дивлячись на спад ринок ЄС залишився основним для збуту даної продукції, що підтверджує важливу роль інтеграційних процесів з ЄС для галузі Португалії. Зазначимо, що частка Португалії в загальному промисловому виробництві ЄС зростає протягом 2014-2019рр. й, не дивлячись на спад у 2020р., вона все рівно залишається на достатньому рівні 1,54% [4].

Для подолання криз та розвитку Португалія використовує два інструменти: науково-дослідницькі програми та інтеграційні програми ЄС. Брак інвестицій у науку і техніку, відсутність зв'язків між університетами і промисловістю були основними недоліками, на подолання яких спрямована сучасна політика. На рівні органів державної влади відповідальність за питання політики в галузі науки і технологій, а також за вищу освіту, несе Міністерство науки, технологій і вищої освіти. Центральні дослідницькі організації в португальській дослідницькій системі виступають сполучною ланкою між державним і приватним секторами [1]. Під впливом Індустрії 4.0. у сучасних закладах вищої освіти з'являється можливість до комерціалізації результатів наукової діяльності, надання освітньо-консалтингових послуг, що може стати джерелом додаткових доходів [5]. Так, із закладами вищої освіти Португальської республіки в КПП ім. Ігоря Сікорського існує тісний зв'язок, а саме: запроваджено меморандуми про співпрацю з такими університетами: Політехнічний інститут Сетубал, Політехнічний інститут Томар, Політехнічний університет Браганса.

Науково-технічна дослідницька діяльність у Португалії в основному здійснюється в межах мережі дослідницьких підрозділів, що належать державним університетам та державним автономним науково-дослідним інститутам, таким як INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação та INRB - Instituto Nacional dos Recursos Biológicos. Португалія є членом кількох загальноєвропейських наукових організацій, зокрема Європейської лабораторії фізики елементарних частин (CERN), ITER [1].

Розглянемо основні показники економічного розвитку Португальської республіки. Так, за даними організації OECD, висловлюється думка, що темпи відновлення економіки Португалії знизилися, зокрема на це вплинув високий рівень інфляції 7,8%, даний рівень є найбільшим за останні 25 років. Також Португалія є нетто-бенефіціаром бюджету Європейського Союзу з моменту свого вступу [7]. Португальський уряд має великі борги, сьогодні вони складають 115% від ВВП, що теж негативно впливає на розвиток економіки [6]. За величиною ВВП Португалія знаходиться на 50 місці в світі, на 2022 рік він склав \$251,95 млрд, а на душу населення відповідно \$24274,5, за даними Світового банку, зростання ВВП в 2022р. складало 6,7%. Рівень безробіття - 5,8%, має спадну тенденцію [7]. Важливими також є показники експорту та імпорту, в порівнянні з 2021р. вони зросли. Так, експорт з 41,6% ВВП в 2021р. зріс до 50% ВВП в 2022р., а імпорт з 44,5% до 52,6% ВВП. Але сальдо торговельного балансу досі залишається від'ємним, хоч різниця між експортом і імпортом зменшилась [7]. Не дивлячись на це, можна зробити висновок, що португальська економіка поступово відновлюється після кризи COVID-19 і активніше взаємодіє з іншими економіками держав.

Португалія входить до таких інтеграційних об'єднань: ООН, НАТО, ОЕСР, ЄС, Співдружність португаломовних країн (CPLP), Організація Іbero-Американських Держав (ОЕІ), Англо-португальський альянс. Португалія доєдналася до ООН 14 грудня 1955 року, основними органами організації є Генеральна Асамблея, Рада Безпеки, Економічна і Соціальна Рада, Міжнародний Суд. 4 квітня 1949 року міністр іноземних справ Португалії підписав Північноатлантичний договір, зробивши Португалію однією з країн-засновниць НАТО. Разом з 19 іншими державами Португалія підписала Конвенцію про створення ОЕСР 14 грудня 1960 року. Португалія має постійне представництво в організації, що приймає участь в обговоренні програм роботи організації, а також контролює діяльність комітетів та структур ОЕСР [6].

Співдружність португаломовних держав (CPLP) ставить своєю ціллю створення додаткової можливості для консультація держав-членів, задля укріплення їх позицій на міжнародній арені, а також для співпраці у всіх сферах діяльності та заради розповсюдження португальської мови. Португалія доєдналася до Організації іbero-американських держав (ОЕІ) в 2002 році. ОЕІ є найбільшою організацією по співробітництву іспаномовних та португаломовних держав в освітній, науковій та культурній сфері. Найстаріший альянс в світі, який був укладений більше 650 років назад між Португалією та Англією, досі діє. Сьогодні альянс 1386 року стає підставою для укладення нових угод та декларацій між вже Великою Британією та Португальською Республікою.

Державою-членом Європейського Союзу Португалія стала 1 січня 1986 року. З

огляду на вище представлені дані, вступ до ЄС є найважливішим інтеграційним процесом для Португалії. Завдяки фінансовим програмам, зокрема тільки з 5 європейських фондів на період 2021-2027 рр. для Португалії передбачено 23 млрд євро на розвиток економіки, країна може доволі швидко розвиватися та співпрацювати з іншими державами в науково-дослідницьких сферах. Також важливим для країни є торгівля в рамках союзу, 71% експорту та 75% імпорту Португалії припадає на внутрішній ринок ЄС, вплив якої на розвиток промисловості країни важко переоцінити, адже як зазначалось раніше основна частка продукції йде до країн ЄС [1].

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження встановлено, що Португальська республіка бере участь в багатьох інтеграційних об'єднаннях, що додає країні політичної ваги в світі, дозволяє зменшити витрати на оборону, тісніше взаємодіяти з своїми колишніми територіями, посилювати співпрацю з Великобританією, збільшити дохід від експорту та отримувати фінансування від ЄС на розвиток багатьох сфер, що становлять інтерес для ЄС. Інтеграційні процеси в країні сприяють притоку нових технологій та впровадженню досягнень Індустрії 4.0, що має особливе значення для розвитку промислових підприємств.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Portugal. European Commission. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://commission.europa.eu/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/european-semester/european-semester-your-country/portugal\\_en](https://commission.europa.eu/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/european-semester/european-semester-your-country/portugal_en) – 07.12.2023 г.
- [2] Industry Breakdown of Companies in Portugal. HitHorizons. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.hithorizons.com/eu/analyses/country-statistics/portugal> – 07.12.2023 г.
- [3] Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> – 07.12.2023 г.
- [4] Instituto Nacional de Estatística - Estatísticas da Produção Industrial: 2020. Lisboa: INE, 2021. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESpub\\_boui=533958877&PUBLICACOESStema=5414365&PUBLICACOESmodo=2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=533958877&PUBLICACOESStema=5414365&PUBLICACOESmodo=2) – 07.12.2023 г.
- [5] Войтко С. В., Глущенко Я. І., Корогодова О. О., Моїсеєнко Т. Є., Черненко Н. О. Реалізація освітніх бізнес-проектів в Індустрії 4.0 шляхом впровадження нових форм навчання / С. В. Войтко, Я. І. Глущенко, О. О. Корогодова, Т. Є. Моїсеєнко, Н. О. Черненко // *Нові компетенції для Індустрії 5.0 та управління даними для закладів вищої освіти: Збірник матеріалів круглого столу* [текст]. – Київ : НаУКМА, 2023. – С. 6-11.
- [6] Organisation for Economic Co-operation and Development. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.oecd.org/portugal/> – 07.12.2023 г.
- [7] Portugal. The World Bank Group. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://data.worldbank.org/country/portugal?view=chart> – 07.12.2023 г.