

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

ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ І МАРКЕТИНГУ



*XX Всеукраїнська науково-практична конференція студентів,
аспірантів та молодих вчених,*

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ

04-05 грудня 2024 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції



КИЇВ 2024

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань ефективності перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 91 роботу за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з спеціальностей 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та 175 «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 №11/24 від 30.12.2024 р.).

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

Збірник праць XX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні”, 04-05 грудня 2024 р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2024. – 377 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., в.о. 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. Стельмах Наталія Володимирівна — к. т. н., доц., 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

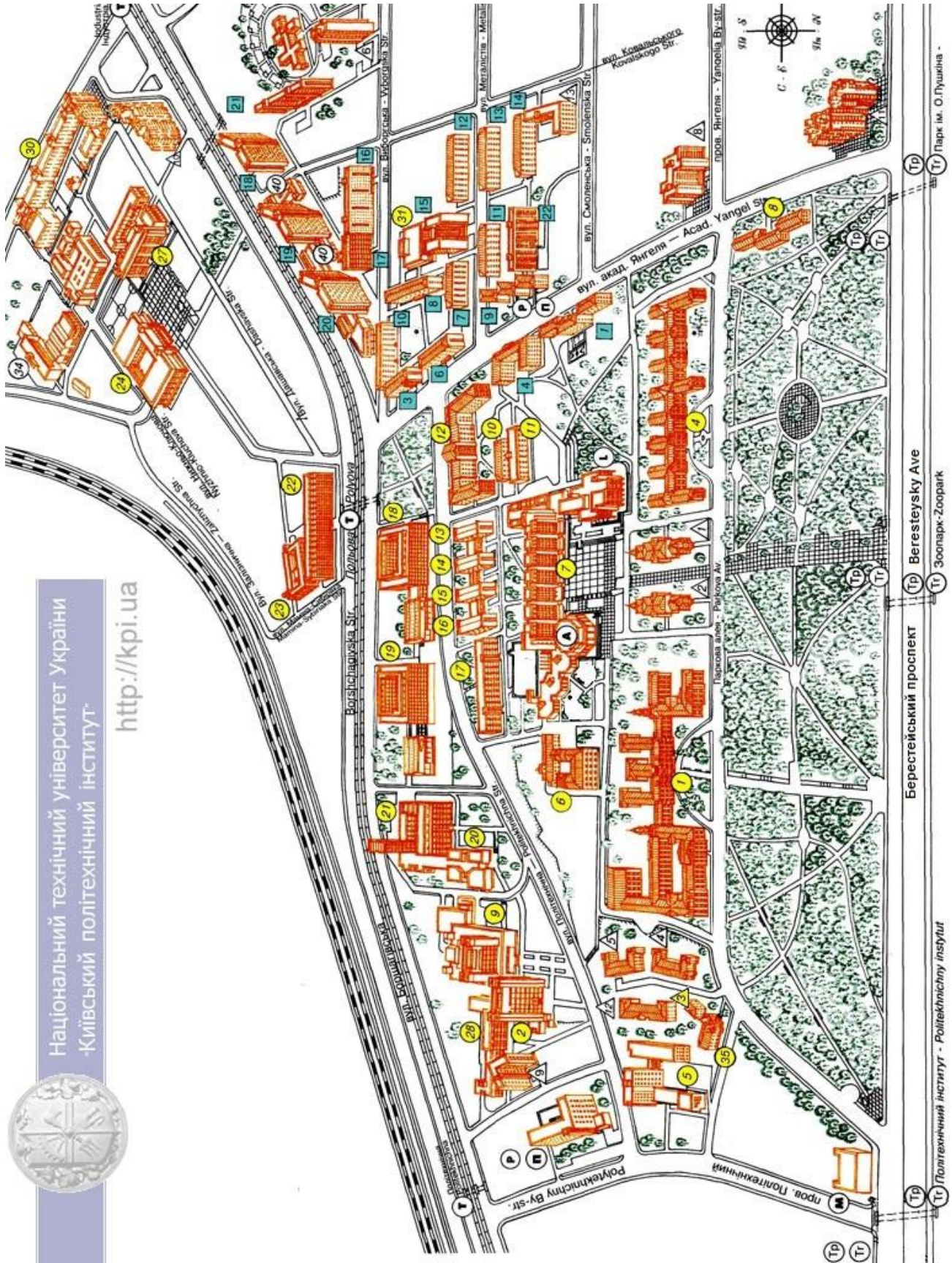
ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

1. Лакоза С.Л. — к.т.н., заст. декана ПБФ з навч.-вих. роботи, голова комітету.
2. Пушкарьов О. Є. — студент ПБФ, заст. голови комітету, секція №1.
3. Кобзєва Д. В. — студентка ПБФ, секція №2.
4. Перепечай С. І. — студентка ПБФ, секція №3.
5. Карпач Д. П. — студентка ПБФ, секція №4.
6. Васюк П. Р. — студентка ПБФ, секція №5.
7. Довбиш І. О. — студентка ПБФ, секція №6.
8. Цвігун М. Б. — студент ПБФ, секція №7.
9. Хмарський А. В. — аспірант 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>В.О. Галушко, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н., доц. Лакоза С.Л.</i> СУЧАСНІ МЕТОДИ КЕРУВАННЯ БПЛА ТИПУ «КРИЛО».....	14
<i>Д. А. Лихолат, студент гр. ПГ-11, доктор філософії, ас. Паздрій О. Я.</i> РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ СКЛАДУ	18
<i>А.О. Орловський, ст. гр. ПГ-31мп, к.т.н., доц. Сапегін О.М., к.т.н. Головач С.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ АЗИМУТАЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДОТІЛЬНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПА.....	22
<i>А. І. Ухань, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н., доц. Сапегін О.М.</i> ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВОЇ ОРІЄНТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ НИЗЬКОЇ ДИНАМІКИ	26
<i>І.М. Фрей, студент гр. ПГ-п21, доктор філософії, ас. Паздрій О.Я.</i> РОБОТИЗОВАНА ПЛАТФОРМА З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ ВІЗУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ВАЖКОДОСТУПНИХ ТЕРИТОРІЙ	30
<i>Е.С. Черник, Ю.О. Павловська, аспірантка, к.т.н., доцент Павловський О.М.</i> МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНОГО РУХУ КРОКУЮЧОГО РОБОТА В СЕРЕДОВИЩІ CORRELIASIM.....	33

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

<i>Д.Д. Анісімов¹, студент гр. ПБ-41мп, к.т.н., доц. Синявський І. І.^{1,2}, к.ф.м.н, доц. Оберемок Є.А.³</i> ГЕНЕРАТОР ЧАСТКОВО ПОЛЯРИЗОВАНОГО ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ТА КАЛІБРУВАННЯ ПОЛЯРИМЕТРІВ	38
<i>Н.В. Бірюк, студент гр. ПО-11, д. т. н., проф. Боровицький В.М.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ДОРОЖНЬОГО РУХУ З ВИКОРИСТАННЯМ PYTHON ТА OPENCV	42
<i>А.Р. Крутиус, студент гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Колобродов В.Г.</i> АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОПТИКО- ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ НА БАЗІ ПОЛЯРИМЕТРИЧНИХ ТЕПЛОВІЗОРІВ.....	46

СЕКЦІЯ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

<i>І.Е. Rudkovskiy, student of group PB-31mp, associate professor Stelmakh N.V.</i> MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE SPATIAL POSITION OF AN OBSERVATION OBJECT FOR SEARCH AND RESCUE UAVS.....	52
<i>Б.В. Башкір¹, студент гр. ПБ-31мп, к.е.н., Тимошенко О. В.²</i> МІНІМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТАХ.....	55

<i>Ю.О. Бубнов, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТА МАНІПУЛЯТОРА МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ.....	58
<i>Oleh Bukovskyi, postgraduate student gr. PB-z31f, PhD, Assoc. prof. Serhiy Vysloukh</i> EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF ADAPTIVE ALGORITHMS IN ELECTRICAL CONNECTION CONTROL SYSTEMS	63
<i>Є.В. Васильченко, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Шевченко В.В.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ ПРИ СКЛАДАННІ ПРИЛАДІВ. 68	
<i>В.І. Гмиря, студент гр. ПІ-31мп, к.т.н., доц. Самарцев Ю.М.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ВИРОБНИЦТВА ПЕТ ПЛЯШОК.....	72
<i>С.В. Грибан, студент гр. ПБ-31мп, ас. Заєць С.С.</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ УГІДЬ.....	76
<i>С.А. Дмитренко ¹, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Барандич К.С. ¹, Кравченко І. М.²</i> ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НА СКЛАДІ. МЕТОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ, АЛГОРИТМИ	80
<i>Я. Б. Жук, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Клочко Т. Р.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ПОСТОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ, УТВОРЕНИХ 3D-ДРУКОМ	83
<i>І.В. Масненко, аспірант гр. ПБ-11ф, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.</i> МОДУЛЬ ОПТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИРОБІВ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ	88
<i>Д.С. Мирза, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Філіппова М.В.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РОБОТАМИ - МАНІПУЛЯТОРАМИ	92
<i>А.В. Нестеренко, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Філіппова М.В.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	96
<i>Є.В. Панкратов, аспірант гр. ПБ-31ф, д.т.н., проф. Тимчик Г.С.</i> ПЕРЕВАГИ ЦИФРОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ СУЧАСНИХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	100
<i>В.О. Пилипенко ¹, студент гр. ПБ-41мп, к.т.н. Бартків Л. Г. ²</i> МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІДСЛІДКОВУВАННЯ РАДІОСИГНАЛУ В ПРИМІЩЕННІ	104
<i>Д.М. Покрова, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.</i> ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ	108
<i>В. В. Проценко, студент гр. ПБ-41мп, к.т.н., доц. Шевченко В. В.</i> ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ	113
<i>Д.С. Селюк, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Шевченко В.В.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОЧИЩЕННЯ ВИРОБІВ.....	117

<i>А.Ю. Сидорчук ¹, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Безугла Н.В. ¹, к.т.н. Бартків Л. Г. ²</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ФІКСАЦІЇ КАМЕРИ FPV ДРОНА	121
<i>D.Yu. Tyzhuk, student of group PB-31mp, PhD, Assoc. Prof. M.V. Filippova</i> CONTROL SYSTEM OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR CABLE PRODUCTION	125
<i>А.І. Турик, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Вонсевич К.П.</i> КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАННИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ЧАСОВОГО АНАЛІЗУ ФОРС-МІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ.....	130
<i>О.В. Філіппов, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., ас. Демченко М.О.</i> ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ	134
<i>О.І. Цомпель ¹, студ. гр. ПБ-41мп, д.т.н., проф. Безуглий М.О. ¹, Кравченко І. М. ²</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ПРОПОЛКИ БУР'ЯНІВ	138
<i>Y.A. Yukhymenko, student gr.PB-41f, PhD, assoc. prof. Stelmakh N.V.</i> THE REVELANCE OF USING AI IN UAV CONTROL WHEN THE CONTROL SIGNAL IS LOST.....	142

СЕКЦІЯ 4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІКРО- І НАНОПРИСТРОЇВ

<i>А. А. Бєзов, студент гр. ПМ-31мп</i> НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ У КОМПЛЕКСІ ОРІЄНТАЦІЇ І НАВІГАЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ.....	146
<i>Д. О. Гапонов студент гр. ПМ-31мп</i> ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ	150
<i>Я. В. Головань, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н. Рупіч С.С.</i> КОМБІНОВАНИЙ ПІДХІД ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МАТЛАВ МОДЕЛЕЙ	154
<i>О.І. Земляков, студент гр. ПМ-31мп, PhD, ст.в. Момот А.С.</i> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ КАРТОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ.....	157
<i>М.Ю. Підбуцький, студент гр. ПМ-31мп, д.т.н., проф. Черепанська І.Ю.</i> РОЗРОБКА ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ЯК СКЛАДОВОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР	161

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

<i>А.В. Бачинський, студент гр. ПМ-31мп, к.т.н. старший дослідник Курсін С.М.</i> РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАЧІВ НВЧ ПОТУЖНОСТІ.....	168
--	-----

<i>А.В. Бачинський¹, студент гр. ПМ-31мп, к.т.н. старший дослідник Курсін С.М.²</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПРИ КАЛІБРУВАННІ ВИМІРЮВАЧІВ ПОТУЖНОСТІ	171
<i>В.Р. Бережок, студент групи ПІ-з31мп, д.т.н., проф. Єременко В.С.</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ	175
<i>Л.В. Брацлавська, студентка гр. ПІ-31мп</i> ВПЛИВ ВИПАДКОВИХ ПОХИБОК НА ПРОЦЕС ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ВІДПОВІДНОСТІ.....	179
<i>Н. О. Булавко, студент гр. ПІ-31мп</i> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТОКОЛІВ ESP-NOW, BLUETOOTH, WI-FI ДЛЯ ОБМІНУ ДАНИХ МІЖ ПРИСТРОЯМИ ІОТ	182
<i>Н. О. Булавко, студент гр. ПІ-31мп, к.т.н., доц. Мокійчук В. М.</i> КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКА ВМЕ280 ЗА ДОПОМОГОЮ OPENWEATHERMAP ...	186
<i>П.Р. Васюк, студ. гр. ПІ-12</i> СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГУ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ: РОЗРОБКА СИСТЕМ, ОТРИМАНИХ ДАНИХ З ДАТЧИКІВ, РЕЖИМІВ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ТА ПОПЕРЕДЖАТИ АВАРІЇ.....	189
<i>О.В. Вінніченко, аспірант, гр. ПІ-41ф, д.т.н., проф. Здоренко В.Г.</i> ОЦІНКА СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ПАЛИВА	195
<i>С.М. Глабець, аспірант, група ПІ-41ф</i> МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДИФРАКЦІЙНО-ЧАСОВОГО МЕТОДУ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ СТИКОВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ	199
<i>М.В. Данілов, студент гр. ПІ-41мп, д.т.н., проф. Здоренко В.Г.</i> МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ	203
<i>Д.Л. Дузяк, студ. гр. ПІ-22</i> ПІДКЛЮЧЕННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ МОНИТОРУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.....	207
<i>В.В. Жидков, В.В. Рожков, студенти гр. ПІ-32мп, PhD, доц. Дорожжінська Г.В.</i> ВПЛИВ ВИПАРІВ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН НА ВІДГУК ППР-СЕНСОРА.....	211
<i>А.А. Ільченко, студ. гр. ПІ-32мп, П.Д. Семенухін, студ. гр. ПІ-31мп</i> ФЛУОРЕСЦЕНТНИЙ ВИМІРЮВАЧ ШВИДКОСТІ УТВОРЕННЯ ХЛОРОФІЛУ У РОСЛИНАХ.....	214
<i>К.А. Кисельова, студент гр. ПІ - з31мп, к.т.н., доц. Мокійчук В.М.</i> МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕНСОРІВ КИСНЮ.....	217
<i>В.О. Коломійченко, студент гр. ПІ-41мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.</i> МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ І МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЛИВНИХ УСТАНОВОК	220
<i>К.В. Кравченко, П.С. Терещенко, студ. гр. ПІ-22.</i> ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ МЕТОДОМ ЗБУДЖЕННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ	223

<i>Є. В. Михайлов, студент гр. ПІ-31мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н. М.</i> ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ НА ДОРОГАХ	226
<i>Ю.В. Носова, студ. гр. ПІ-32мп, П.Д. Семенухін, студ. гр. ПІ-31</i> ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛАСТИЧНОГО КОНТАКТУ У ГАЗОРОЗРЯДНОМУ ПРИСТРОЇ	230
<i>К.М. Нощенко, студ. гр. ПІ-22</i> ВИМІРЮВАННЯ ЛЮКС-ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕНДОСИНСЬКОГО ДВИГУНА У РОЗШИРЕНОМУ ДІАПАЗОНІ ОСВІТЛЕНОСТІ.....	233
<i>А.І. Ніколаєв, М.В. Петров, студенти гр. ПІ-32мп, В.Г. Желізняк, студентка гр. ПІ-з31мп, д.т.н., проф. Барилко С.В.</i> УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ЩІЛЬНОСТІ ТОНКИХ МАТЕРІАЛІВ.....	237
<i>А.І. Ніколаєв, М.В. Петров, О.В. Майданник, студенти гр. ПІ-32мп, В.Г. Желізняк, студентка гр. ПІ-з31мп, д.т.н., проф. Барилко С.В.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ПОХИБКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З КОМПЕНСУЮЧОЮ НАПРУГОЮ	241
<i>В.В. Петров, аспірант, гр. ПІ-41ф, к.т.н, доц. Маркін М.О.</i> КОНТРОЛЬ СКЛАДУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ.....	245
<i>І.В. Приміський, аспірант, Р.Р. Рудницький, аспірант, к.т.н., ас. Івасенко В.М.</i> ВІДПРАЦЬОВАНІ ГАЗИ АВТОМОБІЛІВ, НОРМАТИВИ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ	249
<i>М.Р. Пукіш, студент гр. ПІ-32мп, к.т.н, доц. Мокійчук В.М.</i> СИСТЕМА КАЛІБРУВАННЯ НЕФЕЛОМЕТРІВ	253
<i>В.В. Рожков, В.В. Жидков, студент гр. ПІ-32мп. PhD, доц. Дорожжінська Г.В.</i> ОЦІНКА ЯКОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ НА ОСНОВІ ОПТИЧНИХ ХВИЛЬ	256
<i>М. М. Самойленко, студент гр. ПІ-32мп, к.т.н., ас. Івасенко В.М.</i> ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИПРОМІНЮВАННЯ ОБ'ЄКТА	260
<i>Р. О. Соколюк, студент гр. ПІ-41мп, к.т.н., старший викладач Морозова М. М.</i> ОГЛЯД ПРОБЛЕМАТИКИ ЩОДО АНАЛІЗУ ҐРУНТУ І ЙОГО ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВІД ВОСНИХ ДІЙ.....	264
<i>Р.С. Теличко, студент гр. ПІ-32мп, к.т.н., доц. Щербань А.П.</i> ТРЕКІНГОВА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	267
<i>Р.Г. Тимчик, аспірант гр. ПІ-41ф, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНСТРУМЕНТУ	271
<i>А.О. Шклярський, студент гр. ПІ-31мп, д.т.н., проф. Туз Ю.М.</i> РОЗРОБКА ШИРОКОСМУГОВОГО МІЛІВОЛЬТМЕТРА ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ.....	275
<i>А.О. Шклярський, студент гр. ПІ-31мп, д.т.н., проф. Туз Ю.М.</i> АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МІЛІВОЛЬТМЕТРІВ ТА ВИМІРЮВАЧІВ СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ	279

К.А. Шолудько, аспірант гр. ПІ-41ф, д.т.н., проф. Здоренко В.Г.
МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНІ ВОДИ..... 283

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

О.С. Акуленко, студент гр. ПМ-31мп
РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ ПІРОМЕТРА MLX90614 288

Є.С. Асінов, студент гр. ПМ-31мп, к.т.н., доц. Гришанова І.А.
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МЕДИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ ЛЮДИНИ..... 291

І.О. Dovbysh, student gr. PK-11, Ph.D. Muraviov O.V.
COMPLEMENTARY FILTER FOR UAV ATTITUDE ESTIMATION..... 295

В.В. Коновал, студент гр. ПМ-31мп
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ В ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСАХ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ..... 299

А.В. Новожилова, студ. гр. ПМ-31мп, к.т.н., доц. Лисенко Ю.Ю.
СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ: ОГЛЯД МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ..... 303

Н.О. Півень, студент гр. ПМ-31мп
СИСТЕМА ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ОФІСНОГО ПРИМІЩЕННЯ..... 307

І.О. Пітух, студент гр. ПМ-31мп
ВИКОРИСТАННЯ ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ 311

Я.Д. Рудов, студент гр. ПМ-31мп, к.т.н., доц. Баженов В.Г.
СИСТЕМА КОНТРОЛЮ БОКОВИХ РАМ ВІЗКІВ ВАГОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАГНІТНОГО МЕТОДУ 314

О.В. Чеберяк, студент гр. ПМ-11
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АРТЕРІАЛЬНОГО ТИСКУ 320

СЕКЦІЯ 7. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ БІОМЕДИЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

V.V. Storozhenko ¹, student of gr. PB-31m, k.e.s., Tymoshenko O. V. ²
AUTOMATED SYSTEM FOR REHABILITATION EFFECTIVENESS ASSESSMENT BASED ON MYOGRAPHIC PARAMETERS ANALYSIS 326

М.І. Борута, студент гр. ПБ-з31мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
УЛЬТРАЗВУКОВА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА МЕДИЧНА СИСТЕМА..... 330

Б.С. Дейнеко, студент гр. ПБ-22, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНИХ АПАРАТАХ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕРАПІЇ 334

С.О. Дуга, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., ст. викл. Велигоцький Д.В.
НЕІНВАЗИВНЕ ВИМІРЮВАННЯ ГЛЮКОЗИ В КРОВІ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ
ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЇ 338

Ю.В. Лобур, аспірант гр. ПБ-31ф, к.т.н, доц. Вонсевич К.П.
ОСОБЛИВОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ МАНІПУЛЯЦІЇ В
РОБОТИЗОВАНИХ ПРОТЕЗАХ ВЕРХНІХ КІНЦІВОК..... 342

Г.А. Пащенко, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф
ОЦІНКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА
БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ..... 346

О.С. Турбіцький, студент гр. ПБ-41мп
МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИЙ ЛАЗЕРНИЙ АПАРАТ З ОПТОВОЛОКОННИМ
ВИХОДОМ 350

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

Р. О. Бабко, аспірант гр. УС-41ф, зав. каф., д.е.н., проф. Войтко С. В.
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЖНАРОДНОЇ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ
ЛОГІСТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ НА ЗАСАДАХ ІНДУСТРІЇ 4.0 В
УМОВАХ ВАЛЮТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ..... 356

В.В. Бидзан, студент гр. ЛЦ-11, к.е.н., доц. Скоробогатова Н.Є.
ПРОБЛЕМИ КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЧОГО СЕКТОРУ
НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ В КРИЗОВИХ УМОВАХ 359

С. В. Войтко, завідувач кафедри міжнародної економіки, д.е.н., проф.
ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБНИЧОЇ СТРУКТУРИ ТА СУПРОВОДЖЕННЯ
ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОДУКТУ INDUSTRY 4.0 362

О.О. Зробок, аспірант гр. УС-21ф
МІЖНАРОДНЕ НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО В
ЕЛЕКТРОПРИЛАДОБУДУВАННІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0 366

Д.В. Пашко, д.е.н., доц., П.В. Пашко, д.е.н., проф., засл. діяч науки і техніки України
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МИТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЯХ..... 369

А.В. Хмарський, аспірант гр. УС-21ф
ІНДУСТРІЯ 4.0 В ПРИЛАДОБУДІВНІЙ СФЕРІ: ВИКЛИКИ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА
МІЖНАРОДНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО 374

Секція 1.

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

УДК 629.7.05

В.О. Галушко, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н., доц. Лакоза С.Л.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СУЧАСНІ МЕТОДИ КЕРУВАННЯ БПЛА ТИПУ «КРИЛО»

Анотація. У роботі розглянуто ключові методи управління безпілотними літальними апаратами з фіксованим крилом. Зроблено огляд основних методів керування, таких як класичний PID-регулятор, оптимальний LQR, адаптивний MRAS та нечітке керування FLC. Особлива увага приділяється практичному застосуванню кожного підходу, їх перевагам та обмеженням. PID-регулятор з оптимізацією параметрів демонструє високу ефективність у стабільних умовах, тоді як LQR дозволяє досягти оптимального балансу між точністю і витратами енергії. FLC забезпечує високу гнучкість у ситуаціях із неповними даними, а MRAS виділяється здатністю адаптуватися до змін середовища в реальному часі.

Ключові слова: БПЛА, методи керування, PID, LQR, FLC, MRAS.

ВСТУП

Сучасний світ неможливо уявити без використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які змінюють спосіб виконання завдань у різних сферах – від військових операцій до цивільних застосувань. Одним із найбільш ефективних типів БПЛА є апарати типу «Крило», що поєднують у собі високу аеродинамічну ефективність та тривалий час польоту. Завдяки своїй конструкції, вони ідеально підходять для завдань, що потребують тривалого перебування в повітрі.

Однак, для того, щоб максимально реалізувати потенціал БПЛА, необхідні сучасні методи керування, що здатні забезпечити стабільність польоту, адаптацію до змінних умов та автономність. У статті розглянуто основні підходи до керування БПЛА типу «Крило», починаючи від традиційних PID-регуляторів і до новітніх алгоритмів на базі штучного інтелекту.

Метою цієї роботи є аналіз сучасних методів керування, їхніх переваг та ролі в розвитку технологій безпілотних систем та висвітлення перспективних напрямків їх подальшого вдосконалення.

PID-КОНТРОЛЕРИ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ПАРАМЕТРІВ

Класичні PID-регулятори залишаються популярними завдяки простоті і надійності, проте для підвищення їх ефективності необхідно застосовувати методи оптимізації, такі як генетичні алгоритми, що дозволяють адаптивно налаштовувати коефіцієнти регулятора, покращуючи стабільність польоту навіть за зовнішніх збурень, таких як вітрові пориви.

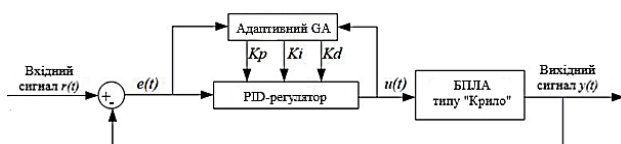


Рисунок 1. Структурна схема адаптивного PID-регулятора GA [1]

Структура PID-регулятора на основі адаптивного генетичного алгоритму GA відображає основні елементи адаптивного управління (рис. 1). Задаючись інтервалами розподілу пропорційного коефіцієнта K_p , інтегрального коефіцієнта K_i та диференціального коефіцієнта K_d , у функції вхідного відхилення $e(t)$ та виходу PID-регулятора $u(t)$, будується мінімум цільової функції, що дозволяє знайти оптимальні значення параметрів PID-регулятора або інтервал розподілу оптимального значень [1].

Згідно схеми на рис.1, генетичний алгоритм постійно аналізує похибку та

ефективність регулятора, виконуючи ітерації оптимізації (селекція, зхрещення і мутація), щоб забезпечити найкращі значення за змінних зовнішніх умов. (наприклад, поривів вітру або турбулентності).

Застосування адаптивного генетичного алгоритму GA в оптимізації PID-регуляторів для БПЛА показує значний потенціал для розширення в майбутньому. Це може сприяти покращенню адаптивних систем управління в умовах складних і непередбачуваних сценаріїв, таких як автономні місії для моніторингу чи пошуково-рятувальні операції. Дослідження в цій сфері продовжують активно розвиватися, зокрема шляхом інтеграції новітніх технік штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволяє покращити здатність систем до самонавчання та оптимізації.

ЛІНІЙНИЙ КВАДРАТИЧНИЙ РЕГУЛЯТОР (LQR)

LQR - це алгоритм управління зі зворотним зв'язком, що використовує всі змінні стану для оптимального керування, де кожна змінна стану множить на коефіцієнт підсилення і підсумовується для отримання єдиного значення керуючого впливу. Метод дозволяє оптимізувати керуючі сигнали для системи з лінійними моделями динаміками.

Алгоритм забезпечує найкращу можливу продуктивність відносно деякого заданого показника продуктивності. Завдання проектування LQR-алгоритмів полягає в тому, щоб спроектувати регулятор зі зворотним зв'язком K за станом системи при мінімізації цільової функції J [2].

Для лінійної системи неперервного часу, що описується як [2]:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad (1)$$

де, $x(t)$ n-вимірний вектор стану, з функцією витрат, визначеною як [2]:

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} (x^T Qx + u^T Ru) dt \quad (2)$$

де Q та R - вагові матриці, Q має бути додатньо визначеною або додатньо напіввизначеною симетричною матрицею, а R теж має бути додатньо визначеною симетричною матрицею. Один з практичних методів використовує задання Q та R у вигляді діагональних матриць. Значення елементів в Q і R пов'язане з їх внеском у функцію витрат J. Закон керування зі зворотним зв'язком, який мінімізує значення функції витрат, задається формулою [2]:

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

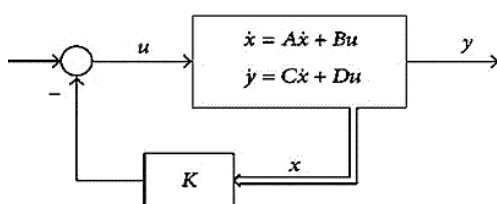


Рисунок 2. Архітектура системи управління LQR [2]

Результатом застосування методу LQR є значення коефіцієнтів підсилення (див. схему на рис. 2), що визначаються на співвідношенні ваги похибки та керуючих впливів у функції витрат.

Дана архітектура дозволяє ефективно контролювати поведінку динамічної системи шляхом регулювання станів відповідно до заданих умов швидкості реакції, стабільності та точності досягнення бажаних

траєкторій. У керуванні БПЛА це забезпечує точність утримання курсу, стійкість у турбулентних умовах і ефективну адаптацію до змін навантажень чи зовнішніх збурень.

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ (FUZZY LOGIC CONTROL, FLC)

FLC - це метод, що використовує нечіткі множини та правила для прийняття рішень і керування складними системами. Цей підхід корисний, коли дані або система не підлягають точному опису або ж традиційні методи контролю вважаються недостатньо ефективними.

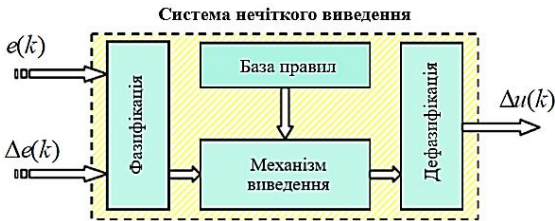


Рисунок 3. Принципова схема регулятора на основі нечіткої логіки [3]

У більшості дослідницької літератури систему нечіткого керування зазвичай визначають як систему, що імітує людину-експерта. У цьому випадку знання людини-оператора можуть бути у вигляді набору нечітких лінгвістичних правил. Ці правила виробляють приблизне рішення так само, як це зробила б людина.

Нечіткий контролер складається з чотирьох елементів: фазифікація, база правил, механізм виведення та дефазифікація. Структурна схема нечіткої системи керування показана на рис. 3 [3].

Значення похибки $e(t)$ та її змінювання $\Delta e(k)$, що виникають під час роботи системи, формують чіткі входи системи. Ці два входи визначаються як [3]:

$$e(k) = r(k) - y(k)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k - 1) \tag{4}$$

де, $r(k)$ - еталонний вхід; [3]

$y(k)$ - фактичний вихід системи;

k - крок дискретизації.

Вхідні дані $e(k)$ та $\Delta e(k)$ перетворюються на нечіткі значення приналежності, які належать до нечітких підмножин: від'ємне велике (NB), від'ємне мале (NS), нуль (ZZ), додатне мале (PS) та додатне велике (PB) (рис.4).

e Δe	NB	NS	ZZ	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	ZZ
NS	NB	NS	NS	ZZ	PS
ZZ	NS	NS	ZZ	PS	PS
PS	NS	ZZ	PS	PS	PB
PB	ZZ	PS	PS	PB	PB

Рисунок 4. Правила для контролера нечіткої логіки [3]

Метод FLC застосовується в БПЛА типу «Крило» для різних задач, таких як стабілізація в польоті, автоматичне управління рухом, а також для прийняття рішень у складних ситуаціях (наприклад, уникнення зіткнень).

МОДЕЛЬ ЕТАЛОННОГО АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ (MRAS)

MRAS - це структура, що дозволяє системі автоматично підлаштовуватися під зміни в середовищі або в динаміці процесу. Основна ідея полягає в тому, що система використовує "еталон" або "базову" модель, яка представляє бажану поведінку системи, для корекції своїх параметрів у відповідь на відхилення. Для цього параметр

регулятора (коефіцієнт адаптації) регулюється відповідно до сигналу похибки, який визначається як різниця між виходом системи та виходом моделі (рис.5) [4].

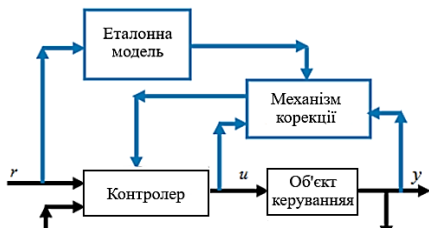


Рисунок. 5 Схема MRAS [4]

У цьому випадку бажана продуктивність задається еталонною моделлю, яка генерує еталонні вхідні сигнали u для системи керування. Контур керування буде коригуватися вихідним сигналом моделі за допомогою механізму адаптації. На додаток до звичайної структури зворотного зв'язку, адаптивне управління використовує додатковий контур, а саме «контур адаптації» (зображений

синім кольором) для компенсації будь-яких змін у динаміці процесу та для компенсації збурень [4].

Метод модального еталонного адаптивного керування забезпечує ефективне керування БПЛА шляхом порівняння реальної поведінки системи із заданою еталонною моделлю.

ВИСНОВКИ

Сучасні методи керування БПЛА типу «Крило», такі як PID, LQR, FLC і MRAS, постійно вдосконалюються з урахуванням розвитку обчислювальних потужностей, технологій штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання. Це дає змогу підвищити їхню ефективність і адаптивність до складних ситуацій. Зокрема, інтеграція методів, таких як LQR і MRAS з елементами нейронних мереж, вже дозволяє вирішувати більш складні задачі автономного керування в реальному часі, адаптуючи їх під конкретні умови експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] X. Yu, L. Yan, Z. Guan, Y. Wu, F. Peng and F. Yan, "Control of Fixed-wing UAV Using Optimized PID Controller with the Adaptive Genetic Algorithm," 2022 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR), Guiyang, China, 2022, pp. 298-303, — Режим доступу: www.URL:https://doi.org/10.1109/RCAR54675.2022.9872224
- [2] Anjali, B.S., Vivek, A., Nandagopal, J.L.: Simulation and analysis of integral LQR controller for inner control loop design of a fixed wing micro aerial vehicle (MAV). *Procedia Technology*. 25, 76–83 (2016), — Режим доступу : www.URL:https://doi.org/10.1049/iet-cta.2016.0236
- [3] Vishnu G Nair, Dileep M V, V I George. Aircraft Yaw Control System using LQR and Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Computer Applications*. 45, 9 (May 2012), 25-30, — Режим доступу: www.URL:https://doi.org/10.1109/INISTA.2011.5946069
- [4] Sreenatha G. Anavatti, Fendy Santoso, and Matthew A. Garratt. Progress in Adaptive Control Systems: Past, Present, and Future. *International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation*. (October 2015), — Режим доступу: www.URL:https://doi.org/10.1109/ICAMIMIA.2015.7537196

УДК 681.2

Д. А. Лихолат, студент гр. ПГ-11, доктор філософії, ас. Паздрій О. Я.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ СКЛАДУ

Анотація. У роботі розглянуто сучасні технології автоматизації складської логістики з використанням робототехнічних систем та розроблено прототип складського робота. Запропонована система забезпечує автономне транспортування вантажів за заданими маршрутами, що підвищує ефективність складів і зменшує фізичне навантаження на персонал.

Ключові слова: робототехнічні системи, складські роботи, Arduino Nano, датчик розпізнавання кольору TCS230.

ВСТУП

Однією із важливих проблем робототехніки, є створення можливості для робота справлятися із його завданнями у будь-якому доквіллі: на землі, під водою, у повітрі, під землею або в космосі [1].

У виробництві застосовується велика кількість різновидів і типів роботів, і робототехнічних комплексів, від найпростіших до складних інтелектуальних, які здатні самостійно приймати рішення на основі отриманої інформації у складних виробничих умовах. Для роботизованого виробництва характерним є те, що виробництво здійснюється без участі або майже без участі людини. Застосування роботів дає змогу звільнити людину від важкої одноманітної праці, роботи у шкідливих для організму умовах, а також у недоступних для людини середовищах [2].

СКЛАДСЬКІ РОБОТИЗОВАНІ СИСТЕМИ

Складські роботи набувають все більшої популярності серед підприємств різних галузей, які мають складські відділи. Їх використання дає змогу не лише автоматизувати процес перевезення вантажів, а й значно зменшити потребу у важкій фізичній праці, підвищуючи ефективність роботи складів, точність операцій і безпеку працівників [3].

Використання роботів дозволяє автоматизувати процес розміщення товарів на полицях, перенесення їх до зони пакування та відправку. Також вони допомагають сортувати товари за категоріями, призначенням або маршрутом доставки, що є особливо актуальним для поштових та кур'єрських служб.

На рис.1 представлено вигляд складського робота, який використовується на складі Amazon [4].



Рисунок 1. Фото складського робота на складі Amazon

Такі роботи під'їжджають до палети з вантажом, підіймають і відвозять до точки прийому. Розвиток складських робіт рухається в напрямку більшої автономності, гнучкості та інтеграції з іншими системами. Нові технології, такі як штучний інтелект, відкривають широкі можливості для покращення складської логістики. Зрештою, тенденції спрямовані на створення інтелектуальних, масштабованих і доступних рішень для бізнесу будь-якого розміру.

СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ СКЛАДУ

Роботизована система для автоматизації роботи складу - це інтегрована сукупність технічних, програмних і, за необхідності, інформаційних компонентів, призначених для виконання завдань з автоматизації та оптимізації різних процесів [5]. Вона включає роботів, їхні компоненти, керуючі системи, а також датчики та виконавчі механізми, які забезпечують ефективну взаємодію з навколишнім середовищем.

Складський робот (СР) – це складна технічна система, яка базується на інтеграції апаратного забезпечення, програмного управління та інтелектуальних алгоритмів [5]. Він виконує різноманітні завдання в логістичних процесах, від прийому товарів до їхнього відвантаження.

Складські роботизовані системи, попри свою популярність і актуальність, мають низку недоліків, які створюють проблемні ситуації. Серед основних – висока вартість впровадження, складність інтеграції з існуючими системами, недостатня гнучкість до змінних умов, а також залежність від надійності технологій. Крім того, залишаються питання безпеки та потреба в автоматизації управління. Ці проблеми обмежують ефективність і масштабне впровадження таких систем, тому розроблення нових та вдосконалення вже існуючих систем залишається актуальним.

РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ СКЛАДСЬКОГО РОБОТА

У ході дослідження було розроблено прототип складського робота для автоматизації роботи складських приміщень. Загальний вигляд прототипу СР показано на рис.2.

Запропонований виріб складається з двох поверхонь. На нижній поверхні розташовані мікроконтролер, чотири сервоприводи, чотири колеса та елементи живлення, що забезпечують функціонування пристрою. Верхня поверхня є рухомою і призначена для піднімання вантажу. У центрі верхньої платформи знаходиться датчик кольору, який зчитує інформацію з маркера, розміщеного на вантажі. Він використовується як помічник для працівників складу. Робот допомагає переміщувати важкі вантажі за запрограмованим маршрутом.

Робот здійснює переміщення до спеціально відведеного місця, де на його платформу розміщується вантаж. У ході експериментальних досліджень було встановлено, що датчик кольору здатний розпізнавати будь-який колір із високою точністю. Це відкриває можливість реалізації безлічі маршрутів для транспортування вантажів.

Датчик кольору попередньо був відкалібрований, що забезпечує коректне

визначення кольорових маркерів на вантажах. Завдяки використанню сервоприводів із можливістю обертання на 360° робот здатний рухатися за будь-яким заданим маршрутом, забезпечуючи точність і гнучкість у виконанні складських операцій.

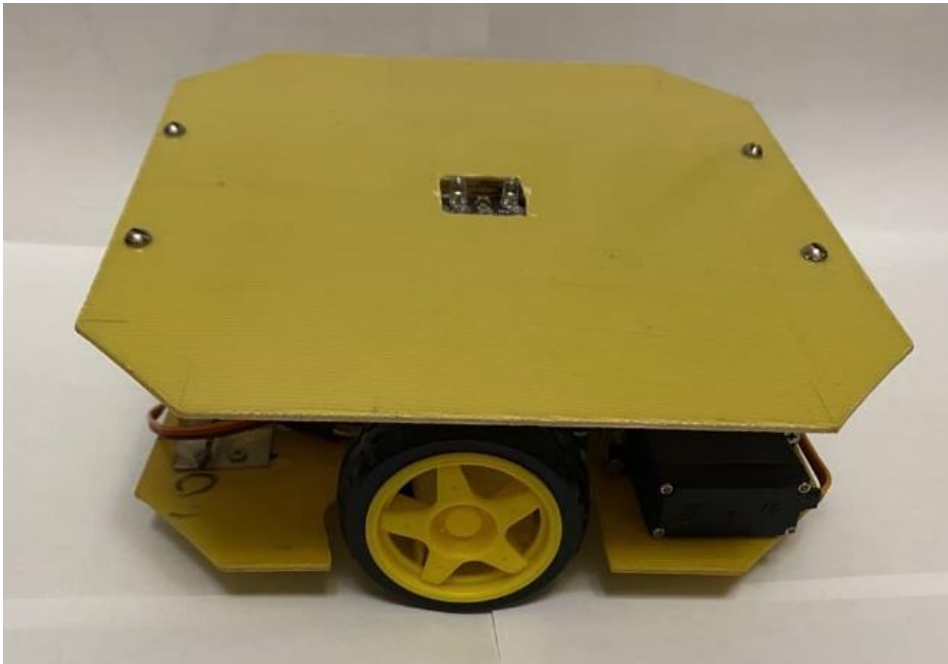


Рисунок 2. Прототип автоматизованого робота

Запропонований складський робот функціонує за наступним алгоритмом:

1. Початкова позиція: Робот перебуває на зарядній станції, готовий до виконання завдань
2. Отримання команди: Після отримання даних від головного управління робот переміщується за попередньо заданим маршрутом до пункту прийому вантажу.
3. Завантаження вантажу: Вантаж розміщується на платформі робота за допомогою маніпулятора або вручну.
4. Зчитування даних: Мікроконтролер отримує інформацію з маркера, розташованого на вантажі. Датчик кольору розпізнає колір маркера, що визначає пункт призначення.
5. Транспортування вантажу: Мікроконтролер формує керуючий сигнал для подачі живлення на сервоприводи, які забезпечують рух робота за заданим маршрутом.
6. Доставка вантажу: Після досягнення пункту призначення рухома платформа робота опускає вантаж на палету.
7. Повернення: Робот повертається до пункту прийому для виконання наступного завдання.

Подальше дослідження складського робота буде зосереджене на коригуванні маршруту за допомогою навігаційних приладів та швидкій обробці даних за допомогою сканера QR-кодів. Це дозволить вносити правки в маршрути робота дистанційно та передавати кінематичні данні з його датчиків.

ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано сучасні технології для автоматизації складської логістики за допомогою робототехніки та розроблено прототип складського робота. Запропонована система демонструє можливість автономного переміщення вантажів за заданими маршрутами завдяки використанню датчиків і мікроконтролера. Впровадження таких роботів сприяє підвищенню ефективності роботи складів і зменшенню фізичного навантаження на працівників. Подальші дослідження зосереджені на вдосконаленні навігаційних можливостей і інтеграції сучасних систем обробки даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Salkowski, M., Checucci, E., Chow, A. K., Rogers, C. C., Adbollah, F., Liatsikos, E., ... & Autorino, R. (2023). New multiport robotic surgical systems: a comprehensive literature review of clinical outcomes in urology. *Therapeutic Advances in Urology*, 15, 17562872231177781.
- [2] Enoch Oluwademilade Sodiya, Uchenna Joseph Umoga, Olukunle Oladipupo Amoo та Akoh Atadoga, “AI-driven warehouse automation: A comprehensive review of systems”, *GSC Adv. Res. Rev.*, т. 18, № 2, с. 272–282, лют. 2024. Дата звернення: 30 листоп. 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.30574/gscarr.2024.18.2.0063>
- [3] Dui, H., Xu, H., Zhang, L., & Wang, J. (2023). Cost-based preventive maintenance of industrial robot system. *Reliability Engineering & System Safety*, 240, 109595.
- [4] Vieira, T. (2023). [Review of The Warehouse. Workers and Robots at Amazon, by A. DELFANTI]. *Análise Social*, 58(2 (247)), 421–424. <https://www.jstor.org/stable/27260438>
- [5] Dixit, P., Nargundkar, A., Suyal, P., Patil, R. (2023). Intelligent Warehouse Automation Using Robotic System. In: Kulkarni, A.J., Mirjalili, S., Udgata, S.K. (eds) *Intelligent Systems and Applications. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 959. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6581-4_34

УДК 629.05

А.О. Орловський, ст. гр. ПГ-31мп, к.т.н., доц. Сапегін О.М., к.т.н. Головач С.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, КАІ, АТ «Елміз»

ДОСЛІДЖЕННЯ АЗИМУТАЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДОТІЛЬНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПА

Анотація. Представлено дослідження можливостей компенсації похибок для застосування Твердотільних вібраційних гіроскопів з чутливим елементом у вигляді металевого резонатора в якості датчиків визначення азимута або гірокомпасів. Приведена демонстрація чутливості даних гіроскопів у діапазоні кутових швидкостей ± 10 град/год. Вимірювання у наведеному діапазоні були виконані способом зміни кутової орієнтації осі чутливості гіроскопа у горизонтальній площині відносно відповідної складової кутової швидкості Землі. На основі отриманої таким чином азимутальної характеристики виконано аналіз похибок які підлягають компенсації для забезпечення використання досліджуваних гіроскопів у задачах гірокомпасування.

Ключові слова: азимутальний кут, азимутальна характеристика, гірокомпасування, твердотільний вібраційний гіроскоп.

ВСТУП

Твердотільні вібраційні гіроскопи (ТВГ) на основі металевих циліндричних резонаторів (рис.1) є відомими представниками широкого класу Коріолісових вібраційних гіроскопів [1]. Доцільність використання таких гіроскопів пов'язана з їх показниками надійності, точності та відносної простоти виготовлення. На даний час підтверджено, що чутливість ТВГ дозволяє вимірювати кутові швидкості на рівні $0,01$ °/год [2], що свідчить про потенційні можливості застосування ТВГ у задачах визначення курсу або азимуту.

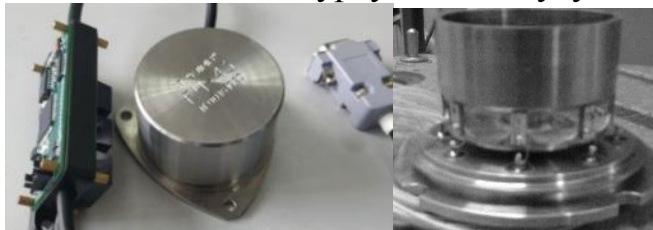


Рисунок 1. Твердотільний вібраційний гіроскоп з власним електронним блоком та з відкритим циліндричним резонатором

Азимут є одним з основних навігаційних параметрів, вимірювання якого є критично важливим у застосуваннях для авіації, геодезії, гірничо-шахтному будівництві та артилерії. До недавнього часу вимірювання азимутального кута за допомогою безплатформних систем [3] було обмежене використанням дороговартісних інерціальних датчиків високого класу точності, що спричиняло складність їх широкого застосування. Сучасне поширення інерціальної навігації у цивільній промисловості, а особливо інтенсивний розвиток безпілотних систем надає актуальності пошуку можливостей застосування гіроскопів середнього класу точності для визначення азимуту у режимах автономних вимірювань.

МОДЕЛЬ ВИМІРЮВАНЬ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ЗЕМЛІ

Азимутальною характеристикою є залежність вимірів проекцій горизонтальної складової кутової швидкості Землі від кута розвороту осі чутливості гіроскопічного датчика у горизонтальній площині. Зазвичай такі вимірювання виконуються у статичному стані датчика за певний час, після чого курсовий кут осі чутливості датчика змінюється і вимірювання повторюються з

певним кроком, певну кількість разів для можливості подальшого осереднення сигналів у статичних положеннях і побудови азимутальної характеристики. При зазначених випробуваннях максимальна вхідна величина розраховується за наступною формулою:

$$U_{\eta} = U \cos \varphi, \quad (1)$$

де U – кутова швидкість Землі, $^{\circ}/\text{с}$, U_{η} – горизонтальна складова кутової швидкості Землі, φ – кут широти місця проведення випробувань.

У даному дослідженні кутова швидкість Землі прийнята як константа зі значенням $15,041^{\circ}/\text{год}$, широта місця випробувань 50° . Відповідно до виразу (1) максимальне вхідне значення U_{η} для даних випробувань становитиме $9,67^{\circ}/\text{год}$. При кутовому відхиленні осі чутливості гіроскопа від векторного значення U_{η} , його вимірювання у статичному положенні можна представити як:

$$\omega_h = U_{\eta} \cos \varphi \sin A, \quad (2)$$

де A – є азимутальним кутом, а ω_h можна представити як осереднене значення n вимірювань гіроскопа, враховуючи його основні похибки, що впливають на визначення азимутальної характеристики [4] і підлягають калібруванню та компенсації:

$$\omega_h^e = \frac{\sum_{i=1}^n (1 + \Delta K) \omega_i + b_0 + \xi_i}{n}, \quad (3)$$

де ω_h^e – експериментально визначене значення ω_h ; ΔK – похибка масштабного коефіцієнта; b_0 – узагальнене зміщення нуля; ξ_i – сумарна випадкова похибка від впливу випадкових складових шуму, якою у даному випадку осереднення значень можна знехтувати.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ПОХИБОК

У якості інтервалу осереднення згідно виразу (3) було обрано кількість вимірювань за 5 с для сигналу з тактовою частотою 1 кГц. Вимірювання здійснювались із застосуванням спеціального випробувального обладнання у вигляді одновісного імітатора руху для автоматичної зміни положень датчика ТВГ (рис.2) у горизонтальній площині.

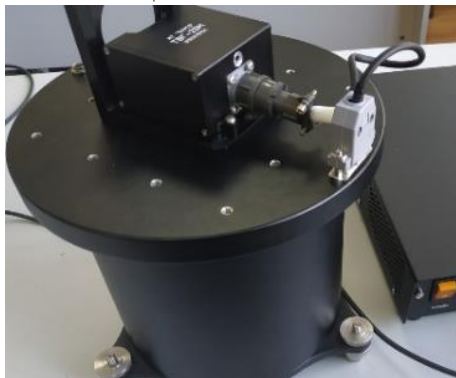


Рисунок 2. Обладнання експериментальних досліджень ТВГ

Отримана азимутальна характеристика в результаті проведених досліджень приведена на графіку рис.3. Для порівняння також побудовано теоретичну азимутальну характеристику згідно (2). Аналіз отриманих результатів дає змогу

оцінити наявність зміщення нуля згідно виразу (3), що становить $20,5 \text{ }^\circ/\text{год}$.

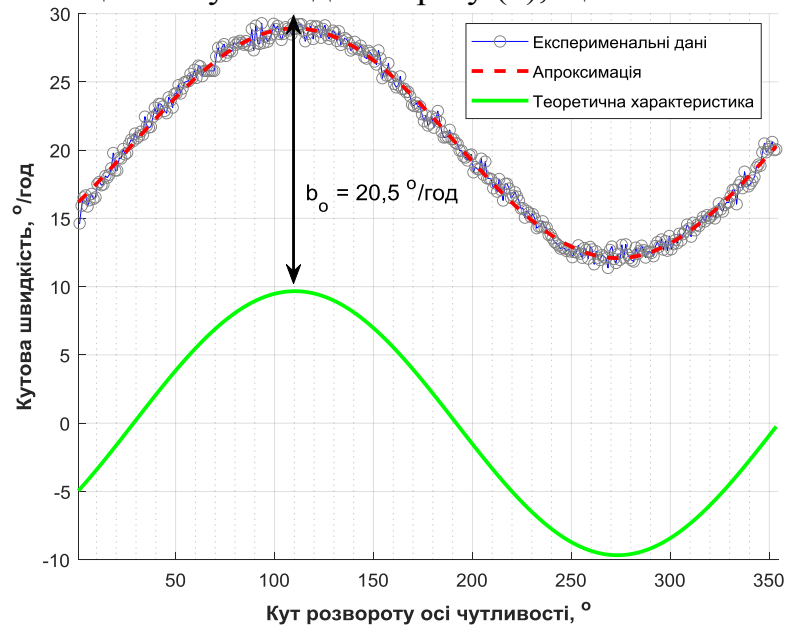


Рисунок 3. Вплив похибки зміщення нуля у результатах експериментальної азимутальної характеристики відносно теоретичної

Компенсація визначеного зміщення нуля дає змогу побудувати графік (рис.4), який наглядно демонструє додатковий вплив похибки масштабного коефіцієнта на отриману азимутальну характеристику. Згідно отриманих даних $\Delta K = 1 - 8,78/9,67 = 0,092$.

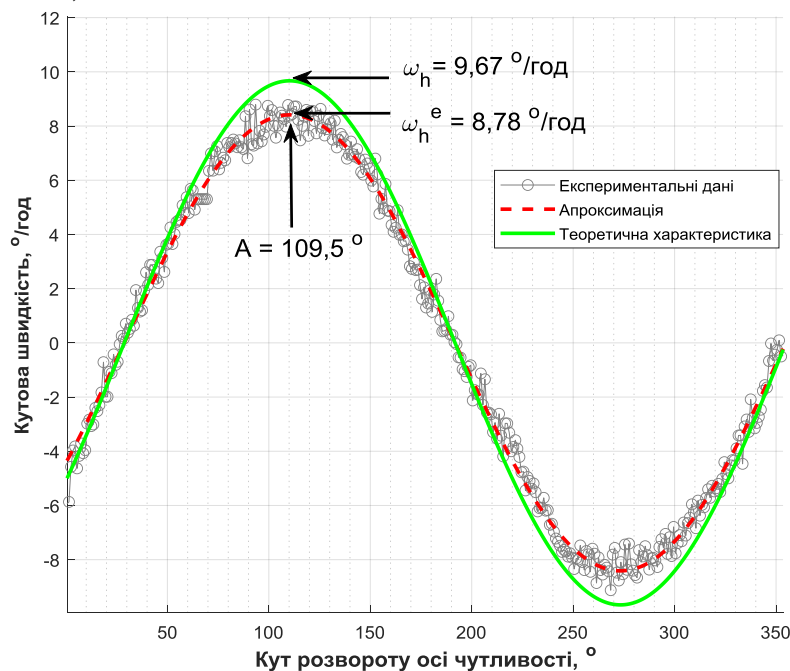


Рисунок 4. Вплив похибки масштабного коефіцієнта на результати експериментальної азимутальної характеристики відносно теоретичної

Вплив похибки масштабного коефіцієнта на результати вимірювань є найбільш значним у ділянках, що знаходяться поблизу екстремумів азимутальної характеристики. Одночасно є помітними закономірності у зменшенні похибки при віддаленні від екстремумів.

ВИСНОВКИ

Результатом даної роботи є підтвердження чутливості ТВГ, як гіроскопічного датчика середнього класу точності, до вимірювання проекцій кутової швидкості Землі.

Найбільш значними негативними факторами, які впливають на точність азимутальних вимірювань, є зміщення нуля та похибка масштабного коефіцієнту.

Компенсація зміщення нуля можлива за допомогою розробки спеціальних методів калібрування у поточному включенні гіроскопа.

При дослідженні впливу похибки масштабного коефіцієнта на вимірювання у діапазоні кутових швидкостей ± 10 °/год виявлено закономірності, що дають змогу зробити припущення щодо можливості визначення функціональної залежності даної похибки, тому є доцільними подальші випробування у даному напрямку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Coriolis Vibratory Gyroscope, IEEE Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Coriolis Vibratory Gyros // IEEE std.1431TM, Annex B, pp. 55-56, Dec. 2004.
- [2] В.В. Чіковані, С.В. Головач. Стан та перспективи розвитку вібраційної гіроскопії в Україні та у світі // Механіка гіроскопічних систем.2021. №41. С.61-87.
- [3] Titterton D. H. and Weston J. L. Strapdown Inertial Navigation Technology. - IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 17, 2004. – pp. 34.
- [4] Заморський О.В., Головач С.В., Строкач Г.Ю. Дослідження твердотілого вібраційного гіроскопу в режимі визначення істинного азимуту заданого напрямку та широти місцеположення об'єкта // Механіка гіроскопічних систем.2022. №44. С.85-95.

УДК 629.7

А. І. Ухань, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н., доц. Сапегін О.М.
КПІ імені Ігоря Сікорського

ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВОЇ ОРІЄНТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ НИЗЬКОЇ ДИНАМІКИ

Анотація. Визначення куткової орієнтації об'єктів з низькою динамікою має велике значення в галузях, де необхідна висока точність орієнтування. Для вирішення цієї проблеми було використано принципи роботи безплатформної інерціальної навігаційної системи, початкової виставки та гіроскопів з акселерометрами. Для покращення точності результату було прийнято рішення використати комплементарний фільтр.

Ключові слова: безплатформна інерціальна навігаційна система, акселерометр, гіроскоп, початкова виставка

ВСТУП

З другої половини минулого століття почалося виробництво інерційних систем безплатформної навігації (БІНС), які вирішили проблему дорогих і складних платформних (карданових) інерціальних навігаційних систем. У БІНС акселерометри та гіроскопи встановлюються безпосередньо на об'єкт, а сама модель системи координат (СК) замінюється на її математичною копію. Проте ці переваги не були досягнуті одразу через суворі принципи роботи чутливих елементів і обчислювальних пристроїв на платі, що працюють в надскладних умовах. Однак з появою високоточних гіроскопів і акселерометрів, а також з розвитком обчислювальних технологій можливості БІНС значно розширилися [1].

Актуальним стає використання підходів і алгоритмів БІНС для точного визначення кутового положення об'єкту у просторі. Виконання цієї задачі на об'єктах низької динаміки дозволяє використовувати мікроелектромеханічні чутливі елементи [2].

Пропонується дослідити можливість використання інерціального вимірювального модуля (ІВМ) з тривісних акселерометрів та гіроскопів для побудови системи визначення куткової орієнтації. Для підвищення точності використовується компліментарний фільтр спеціального налаштування.

Принципову схему БІНС було представлено у роботі [3].

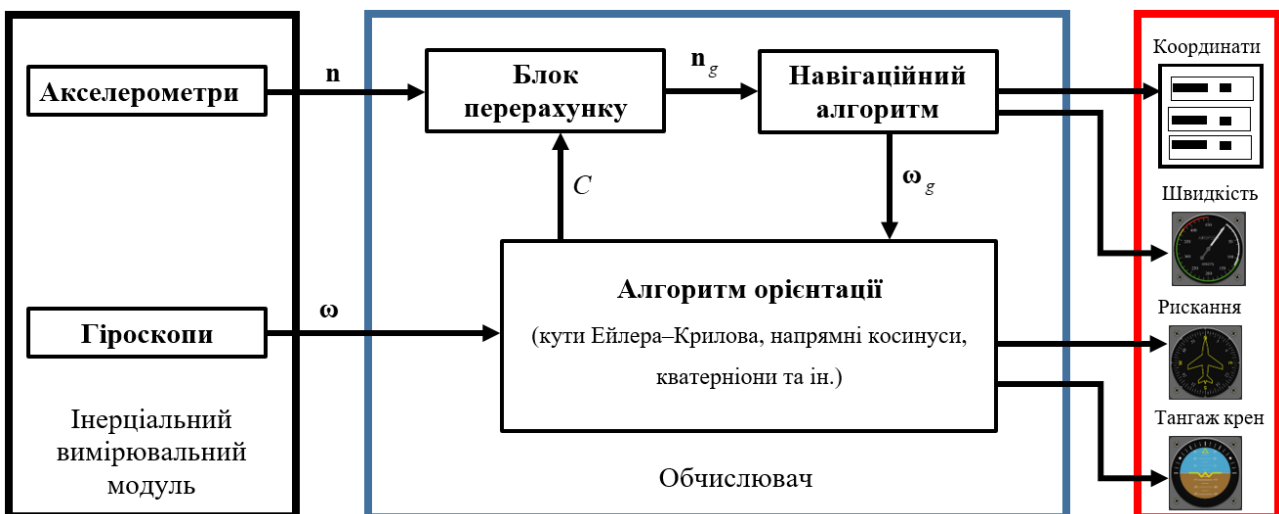


Рисунок 1. Безплатформна інерціальна навігаційна система

ПРИНЦИП РОБОТИ

Так як розглядається саме безплатформна інерціальна навігаційна система, то необхідно замінити платформу на її математичну модель. Ця модель, повинна описати орієнтацію системи координат об'єкта відносно географічної системи координат. Для такої задачі зазвичай використовують спеціальну підсистему, яку називають безплатформною інерціальною системою орієнтації (БІСО) [3]. Дані про орієнтацію можна використовувати як і при керуванні рухом, так і під час проектування вектора прискорення, використовуючи подвійне інтегрування для розв'язку задачі з навігації.

БІСО розраховує кінематичні параметри орієнтації зв'язаної СК, такі як:

- Кути орієнтації Ейлера–Крилова;
- Матриця напрямних косинусів;
- Рівняння Пуассона;

БІСО за допомогою датчика кутової швидкості, розраховують величину проекції абсолютної кутової швидкості обертання зв'язаної СК. Після отримання проекції кутової швидкості формуються кінематичні рівняння, які потім інтегруються для отримання інформації про поточну орієнтацію об'єкта відносно географічної СК.

ІВМ (рис. 1) складається з трьох гіроскопів та трьох акселерометрів. Гіроскопи вимірюють проекцію абсолютної кутової швидкості основи ω та надсилають сигнал на блок Обчислювача. У цьому блоці вже сам алгоритм орієнтації БІСО розраховує поточну орієнтацію, тим самим орієнтацію об'єкта відносно базової СК. В даній схемі використано матрицю напрямних косинусів C . Орієнтація розраховується чисельним інтегруванням відповідних кінематичних рівнянь. Далі у Блоці перерахунку, де перепроєктують проекції уявного прискорення, виміряні акселерометрами, у географічну СК n , використовують саме матрицю напрямних косинусів, отриману з попереднього етапу. Далі відбувається подвійне інтегрування прискорення n_g . В кінці будемо мати інформацію про координати об'єкта, його лінійну швидкість та кутове положення.

Точність БІСО значно впливає на точність навігаційної системи в цілому. Вона визначається інструментальними похибками інерціальних вимірювачів БІНС та методичними похибками алгоритмічного забезпечення [3].

Ключовою деталлю алгоритму роботи БІНС та БІСО є проведення процедури початкової виставки. Найпростішим способом є виконання процедури аналітичного гірокомпасування, для чого необхідні сигнали з ІВМ та інформація про широту місця запуску системи [1, 3]. У результаті початкової виставки отримується початкове значення матриці напрямних косинусів C_0 .

Алгоритм аналітичного гірокомпасування може адекватно працювати лише на нерухомій, або рівномірно рухомій основі, адже велику роль там виконують сигнали акселерометрів. Однак, високу точність мікромеханічних акселерометрів можна використати в гірокомпасуванні у динамічних умовах поєднавши вимірювання з результатами алгоритмів БІСО.

Одним із найпростіших способів це зробити є комплементарний фільтр [2,

4]. У роботі [4] наведено схему комплементарного фільтра першого порядку.

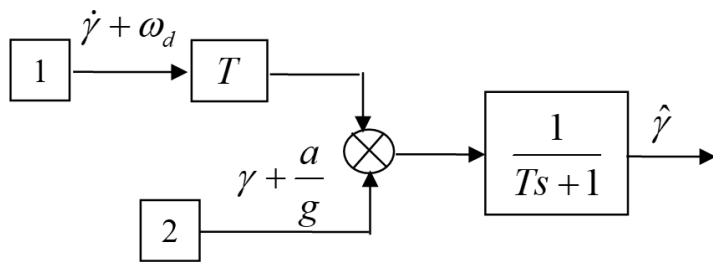


Рисунок. 2 Комплементарний фільтр 1-го порядку

На рис.2 позначено 1 – це ДКШ (гіроскоп), 2 – акселерометр, γ – кут повороту, $\hat{\gamma}$ – сигнал на виході, ω_d – кутова швидкість зміщення нуля ДКШ, a – прискорення об'єкта, T – постійна часу фільтра.

Власне, варіюючи величиною T , можна виконати налаштування фільтра під різні сценарії роботи, під об'єкти різної динаміки.

На рис. 3 показано принципову схему запропонованої системи.

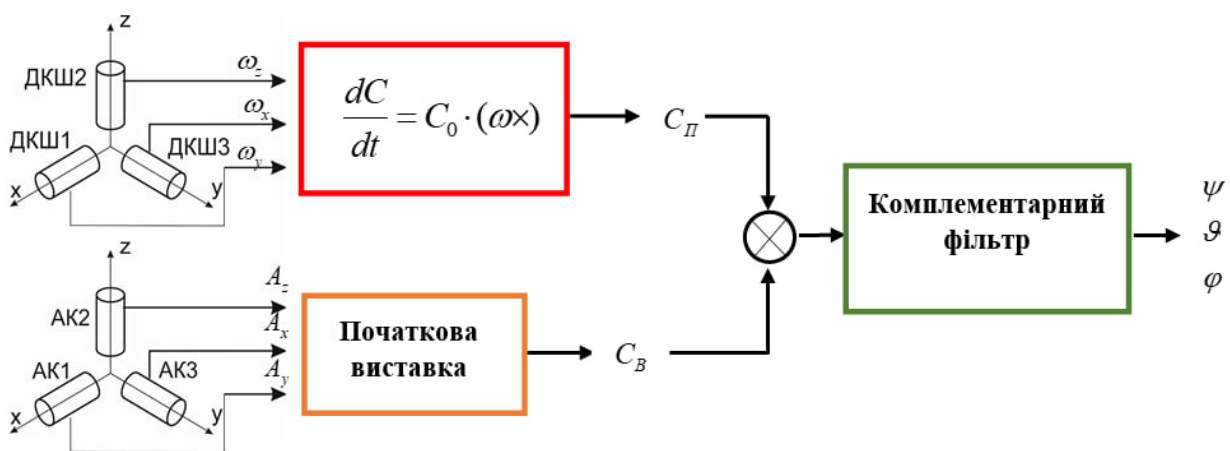


Рисунок 3. Безплатформна інерціальна система орієнтації

Пропонується отримувати дві матриці напрямних косинусів: з процедури початкової виставки і з чисельного інтегрування рівняння Пуассона, а потім розраховувати оцінку цих значень за допомогою комплементарного фільтра.

Для проведення дослідження розроблено імітаційну модель такої БІСО у програмному середовищі Matlab. Виконується моделювання кутового руху та прискорення основи у географічній СК. Розрахунок відповідних значень сигналів ІВМ виконується з врахуванням характеристик мікромеханічних акселерометрів і гіроскопів середньої точності. Після роботи комплементарного фільтра, з отриманої матриці напрямних косинусів знаходять кути орієнтації і порівнюються із заданим рухом основи.

ВИСНОВОК

В даній роботі було розглянуто принципи роботи БІНС та її підсистеми БІСО, як за допомогою гіроскопів та акселерометрів обчислювач отримує необхідну інформацію про положення об'єкта в просторі відносно географічної СК, його швидкість та кути нахилу. Також було розглянуто, що для коректної роботи необхідно вводити початкові дані про положення об'єкта, його швидкість. Але застосувавши початкову виставку на основі акселерометрів, можна автоматизувати дану дію та зменшити шанс на людську похибку. Також

для покращення ефективності розрахунку було запропоновано використати комплементарний фільтр. Для точного порівняння ефективності даного методу було запропоновано порівняти дві матриці напрямних косинусів, отриманих двома способами, в програмному середовищі MatLab

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Мелешко В.В., Нестеренко О.І. Безплатформенні інерційні навігаційні системи. Учбовий посібник. – Кропивницький: ПОЛІМЕД - Сервіс, 2011. – 164с.
- [2] Сапегін О.М. Мікромеханічний інклінометр / О.М. Сапегін, Г.Ю. Строкач // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Сер.: Приладобудування. – 2020. – 59 (1). – С. 24–29. DOI: 10.20535/1970.59(1).2020.210007.
- [3] Sapelin, O. (2024). Developing of Strapdown Inertial Attitude System. In: Bezuglyi, M., Bouraou, N., Mykytenko, V., Tymchuk, 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] Рижков Л.М. “Дослідження комплементарного фільтра на МЕМС-вимірювачах”, Рижков, Л. М. Дослідження комплементарного фільтра на МЕМС-вимірювачах / Л. М. Рижков, А. М. Примушко // Інформаційні системи, механіка та керування : науково-технічний збірник. – 2019. – Вип. 20. – С. 47-53.

УДК 681.500

І.М. Фрей, студент гр. ПГ-п21, доктор філософії, ас. Паздрій О.Я.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОБОТИЗОВАНА ПЛАТФОРМА З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ ВІЗУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГУ ВАЖКОДОСТУПНИХ ТЕРИТОРІЙ

Анотація. Розглянута актуальність використання роботизованих платформ з дистанційним керуванням в небезпечних та важкодоступних місцях, а саме гуманітарне розмінування, ліквідація надзвичайних ситуацій, цивільне застосування. Запропоновано прототип гусеничної роботизованої платформи.

Ключові слова: роботизована платформа, керування, розмінування, Arduino Nano, радіомодуль NRF24L01.

ВСТУП

Розробка роботизованих платформ (РП) із дистанційним керуванням є важливим напрямом у сучасній робототехніці. Такі роботи знаходять застосування у пошуково-рятувальних операціях, наприклад, під час ліквідації аварії на Фукусімі [1], цивільному розмінуванні територій [2], дослідженні небезпечних територій, а також у цивільних задачах, таких як обстеження та сканування будівельних об'єктів або важкодоступних ділянок, таких як тунелі[3]. Сучасні рішення часто мають високу вартість, що обмежує їх доступність, особливо для невеликих організацій або локальних місій. Використання адитивних технологій та оптимізація конструкції дозволяють зменшити витрати та прискорити виробничий цикл, що робить такі платформи більш доступними та універсальними.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Актуальність використання РП у сфері розмінування зумовлена високим рівнем ризику для життя людей: за статистикою, на кожному 5000 нейтралізованих мін припадає одна людська жертва та двоє поранених[4].

Стосовно України всього з початку широкомасштабного військового вторгнення російської федерації на території України знешкоджено 506 тис. 969 одиниць вибухонебезпечних предметів та 2 тис. 965 кг вибухової речовини, у тому числі 3 тис. 595 одиниць авіаційних бомб. Обстежено територію площею понад 139 тис. 57 га. Частка розмінованих територій за допомогою гусеничних РП збільшується, як і кількість таких систем [5]. У [6] розглядаються можливості застосування РП для обстеження та сканування тунелів. Також способи навігації та прокладання маршрутів в складних умовах з складним рельєфом.

У роботі [7] визначено дві основні категорії робіт за типом середовища їх роботи: наземні та повітряні, та розглянуто їх основні переваги та недоліки, сфери застосування. Окрім зазначених виділяють ще підводні роботи (дрони для дослідження океанів, роботи для підводних робіт). Наземні роботи в залежності від типу шасі поділяються на: роботи з ногами (крокуючі), гусеничні та колісні [4]. Повітряні роботи або ж безпілотні літальні апарати потребують великих енерговитрат для своєї роботи, але мають великі переваги в обстеженні територій, великих за площею, та не залежать від місцевості.

Наземні роботи, а саме крокуючі роботи, більш складні у виготовленні та керуванні але дозволяють долати складні ділянки місцевості, такі як ями,

тріщини. Гусеничні та колісні роботи легші у виготовленні, простіші при керуванні та стабільніші.

У роботі [4] автори визначили конструктивні особливості РП для гуманітарного розмінування та основні типи датчиків для виявлення мін. Розглянуто особливості автономного, дистанційного чи комбінованого керування.

РОЗРОБКА МАКЕТУ РП З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ

У ході дослідження було розроблено прототип гусеничної РП підвищеної прохідності з дистанційним керуванням. Радіокерування РП базується на радіомодулях NRF24L01, у якості мікроконтролера використовується Arduino Nano. Всі деталі платформи надруковані на 3d принтері.

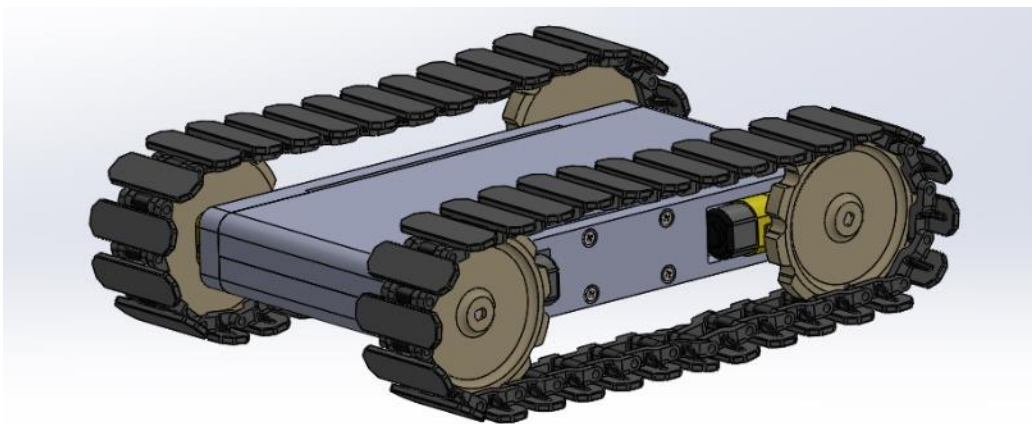


Рисунок 1. Розроблена 3d модель гусеничної роботизованої платформи

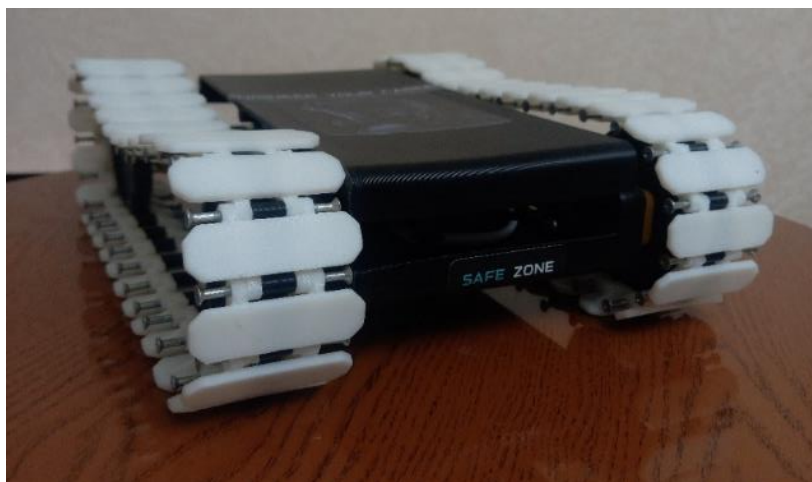


Рисунок 2. Прототип роботизованої платформи

У подальших дослідженнях передбачається встановлення камери з передатчиком для забезпечення візуального моніторингу, а також вдосконалення гусениць шляхом використання композитних матеріалів для підвищення зчеплення з поверхнею. Основною метою є покращення радіозв'язку за допомогою радіомодулів NRF24L01+, що дозволить забезпечити стабільний сигнал на відстані до 1000 м у відкритій місцевості.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було проаналізовано різні типи роботів, зокрема пошуково-рятувальні, роботи для розмінування та роботи для цивільного використання. В результаті аналізу попередніх робіт за цією тематикою можна зробити висновок, що однією з основних проблем, яка стримує їх широке впровадження, є вартість та складність виготовлення РП. Окремою проблемою є забезпечення стабільного зв'язку між оператором і роботом, особливо в умовах складного рельєфу або значних відстаней. Недостатня якість радіозв'язку може знижувати ефективність роботи роботів і створювати ризики для виконання завдань.

Особливо проблема відчутна для пошуково-рятувальних робіт, в роботах для розмінування, оскільки ці роботи працюють в складних умовах.

Для зниження витрат і спрощення виробництва пропонується використовувати технології 3D-друку, адже сучасні матеріали для 3D-друку мають достатні характеристики для задоволення вимог до роботів. Крім того, застосування 3D-друку дозволяє оперативно вносити зміни в конструкцію для вдосконалення, забезпечуючи гнучкість у адаптації до різних ситуацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] E. Strickland, «Meet the Robots of Fukushima Daiichi,» 2014. [Онлайновий]. Available: <https://spectrum.ieee.org/meet-the-robots-of-fukushima-daiichi>.
- [2] ДСНС України, «dsns.gov.ua,» 2023. [Онлайновий]. Available: <https://dsns.gov.ua/uk/news/ostanni-novini/dsns-ukrayini-otrimala-6-robotiv-dlia-distanciinogo-rozminuvannia-teritorii>.
- [3] C. S. N. D. A. D. K. L. K. M. G. K. A. A. E. Protopapadakis, «Autonomous Robotic Inspection In Tunnels,» 2016.
- [4] I. M. A. K. P. K. S. R. A. P. S. M. Vikas Singh Panwar, «A Review on Design and Characteristics of Landmine Detection Robots» 2024.
- [5] Міністерство внутрішніх справ України, «mvs.gov.ua,» 2024. [Онлайн]. Available: <https://mvs.gov.ua/news/v-ukrayini-zberigajetsia-visokii-riven-minnoyi-nebezpeki>.
- [6] L. R. D. S. C. R. F. L. J. L. V. L. M. Danilo Tardioli, «Ground robotics in tunnels,» Wiley, 2019.
- [7] S. M. A. G. B. G. K. M. T. H. C. C. M. H. A. I. D. F. L. M. G. R. S. D. S. Jeffrey Delmerico, «The current state and future outlook of rescue robotics,» 2019.

УДК 007.52, 62-523.8

*Е.С. Черник, Ю.О. Павловська, аспірантка, к.т.н., доцент Павловський О.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНОГО РУХУ КРОКУЮЧОГО РОБОТА В СЕРЕДОВИЩІ CORPELIASIM

Анотація. В роботі представлені результати моделювання алгоритмів руху крокуючого робота гексапода в середовищі CorreliaSim. Були проведені дослідження для руху по прямолінійній траєкторії з врахуванням перешкод, та при русі із складними маневрами. Був досліджений рух гексапода із пошкодженою кінцівкою, дослідження показали, що при пошкодженні відбувається зміщення прямолінійної траєкторії руху в бік пошкодженої кінцівки, що дає можливість скоригувати алгоритм ходи.

Ключові слова: CorreliaSim, алгоритми руху, кінематика, крокуючий робот, гексапод, моделювання, траєкторія руху, рух кінцівки, пошкодження кінцівки.

ВСТУП

В теперішній час четверта промислова революція вказує на чіткий перехід від пілотованих оператором електромеханічних рухомих систем до повністю автономних (або з мінімальною участю оператора) робототехнічних комплексів [1]. У зв'язку з цим, широкого розвитку за останні кілька років набули малогабаритні крокуючі роботи, це пов'язано з розвитком елементної бази, а також з можливістю виконання унікальних функцій, які неможливо реалізувати за допомогою колісних або гусеничних систем тотожних за призначенням. Так, крокуючі роботи з чотирма або шістьма кінцівками мають найбільшу прохідну здатність на пересіченій місцевості із складним ландшафтом, мають можливість виконувати переміщення із моментальною зміною напрямку руху, працювати у закритих приміщеннях, небезпечних середовищах та ін. Застосування таких роботів особливо актуально для питань дослідження стану конструкцій, картографування, розвідницьких цілей, питань мінування та розмінування, що особливо актуально у наш час. Проте, недоліком таких систем є конструктивна складність, значне споживання енергії та складні алгоритми керування, що можуть суттєво навантажувати обчислювальне ядро при виконанні алгоритмів руху, особливо в динамічно змінюваних умовах. Тому, як на етапі створення так і на етапі налагодження таких робототехнічних систем обов'язковим є моделювання різного ступеня деталізації. На відміну від гусеничних або колісних мобільних систем, які при пошкодженні одного двигуна в більшості випадків стають непридатними до подальшого функціонування, крокуючі роботи, особливо із шістьма кінцівками (гексаподи), можуть продовжувати виконання заданих функцій навіть при повній втраті однієї з кінцівок. Таким чином метою даної роботи є проведення моделювання алгоритмів руху крокуючого робота гексапода в тому числі при відмові однієї із кінцівок.

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ГЕКСАПОДА В СЕРЕДОВИЩІ CORPELIASIM

CorreliaSim є потужним програмо-технічним комплексом для реалізації задач моделювання та візуалізації робототехнічних систем [2], особливостями роботи середовища є:

- потужний набір для моделювання, до якого входять п'ять стандартних графічних рушіїв MuJoCo, ODE, Bullet, Vortex, Newton для візуалізації руху будь-якої системи;

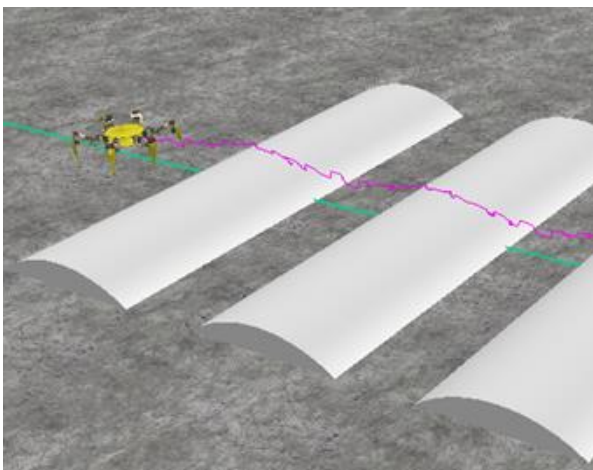
- підтримка реалізації коду на декількох мовах програмування Lua, Python, C/C++, Java, Matlab, Octave та кросплатформеність в межах ОС Windows, MacOSX та Linux;

- повний кінематичний розв'язувач, що дозволяє автоматично отримувати розв'язок як прямої, так і зворотної задач кінематики для будь-якого механізму робота;

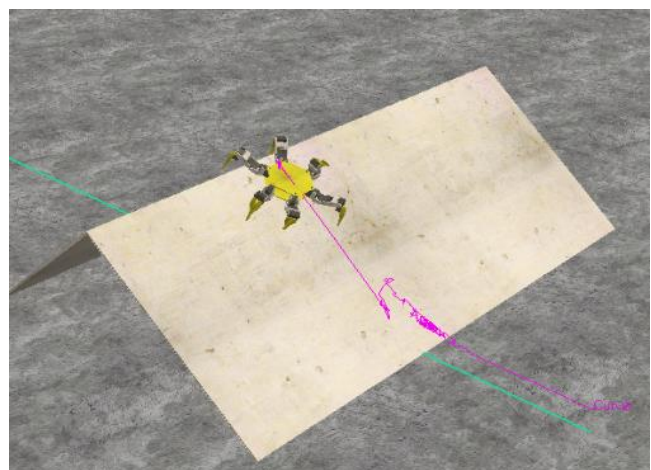
- автоматичне виявлення зіткнень для планування траєкторії і взаємодії з об'єктами та заданим оточуючим середовищем;

- розрахунок та формування алгоритму руху по заданій траєкторії без необхідності модифікувати загальний алгоритм руху.

Дослідження були проведені з використанням моделі «hexapod» із бібліотеки моделей CoppeliaSim. На основі коду тестового алгоритму руху, що постачається із готовою моделлю з використанням мови програмування Lua, було проведено декілька досліджень, так на рис. 1. а показаний рух гексапода по умовно пересіченій місцевості, виступи реалізовані у вигляді частини лежачих циліндрів. Рис. 1.б демонструє можливість гексапода збиратись на пагорб без зміни алгоритму руху. Такий підхід дозволяє оцінити ефективність стандартного алгоритму руху без внесення додаткових змін в траєкторії руху кінцівок і визначити при яких умовах такий перехід обов'язковий.



а)

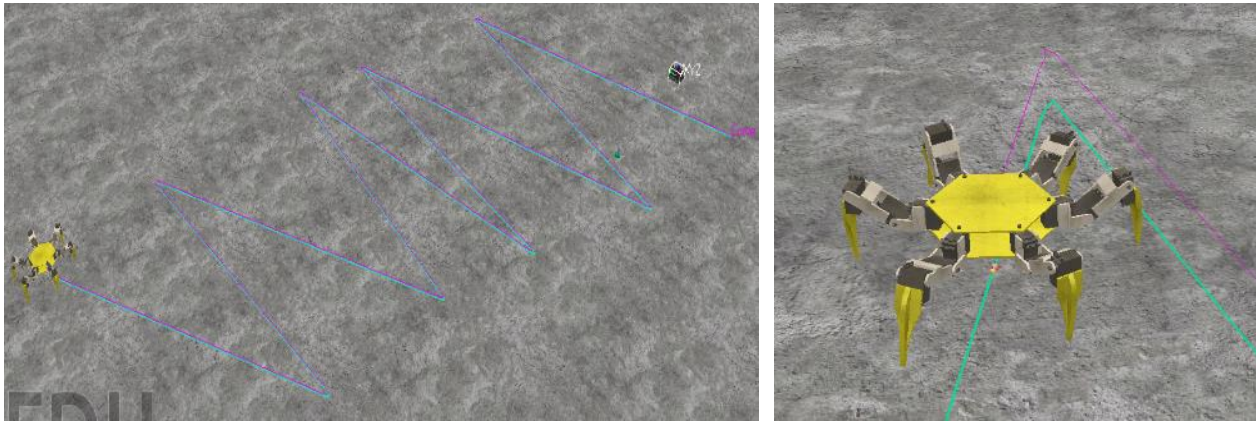


б)

Рисунок 1. Моделювання руху гексапода: а) долання невеликих циліндричноподібних перешкод; б) рух через пагорб без зміни стандартного алгоритму руху

Далі, були проведені дослідження руху по заданій траєкторії із складними маневрами, загальна траєкторія руху показана на рис.2. а. Оскільки корпус гексапода представляє собою правильний шестикутник, то при реалізації алгоритмів руху (якщо це дозволяють зробити інші конструктивні особливості та розташування чутливих елементів) можна не враховувати прив'язку до умовного переду конструкції, на відміну від наприклад прямокутних корпусів де така прив'язка необхідна. Так, на рис. 2.б показана траєкторія руху робота при

проходженні гострого кута без виконання повороту корпусу. Такий підхід дозволяє уникнути додаткових рухів при повороті [3], що значно зменшує час проходження шляху, особливо на траєкторіях з великою кількістю складних маневрів. Недоліком є те, що при такому маневрі необхідно змінювати послідовність руху кінцівок, що створює додаткове навантаження на обчислювальне ядро.



а)

б)

Рисунок 2. Рух гексапода по складній траєкторії: а) загальний вид траєкторії; б) проходження гострого кута траєкторії

Для оцінки можливості руху гексапода з однією пошкодженою кінцівкою було проведено наступне моделювання. Вважалося, що пошкоджена кінцівка при русі не заважає руху інших кінцівок та не призводить до додаткового зміщення центру мас при русі. Так, при настанні події, що може ідентифікуватись як пошкодження кінцівки, обчислююче ядро дає команду на режим «паркування» ніжки. Пошкоджена кінцівка підіймається горизонтально догори, відносно базового суглоба, а опорна частина закидається наверх корпусу, таким чином не розбалансовуючи систему. Пошкоджена передня права кінцівка в режимі «паркування» показана на рис. 3.

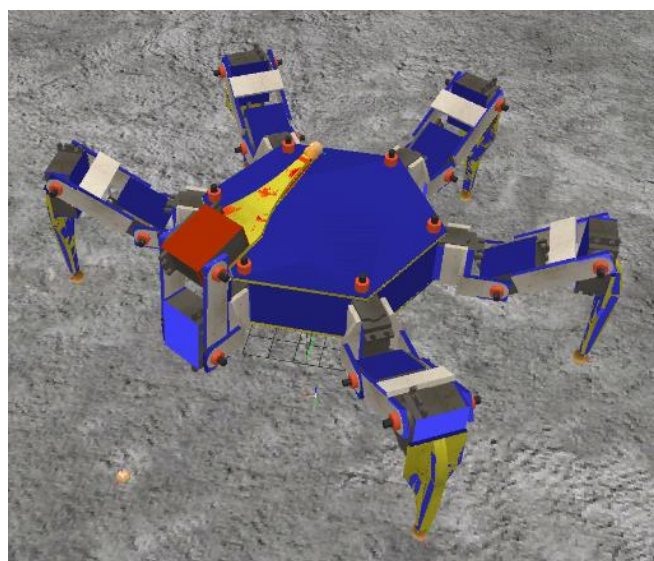


Рисунок 3. Гексапод з пошкодженою ніжною в режимі «паркування»

Проведене моделювання руху гексапода з однією пошкодженою кінцівкою показало відхилення від траєкторії прямолінійного руху. Встановлено, що пошкоджена кінцівка призводить до зміщення траєкторії руху в бік пошкодженої кінцівки відносно запланованої траєкторії, що підтверджує результати отримані в [4].

ВИСНОВОК

В роботі представлені результати моделювання алгоритмів руху крокуючого робота гексапода в середовищі CoppeliaSim. Дослідження проводились на основі моделі гексапода із бібліотеки моделей середовища. Оскільки середовище має вбудований обчислювач задач прямої і зворотної кінематики, то проведення моделювання було спрощено до реалізації необхідних сценаріїв руху. Так, були проведені дослідження для руху по прямолінійній траєкторії з врахуванням перешкод у вигляді частин циліндрів та збирання та спуск з перешкоди типу «пагорб» без зміни стандартного алгоритму руху, при якому послідовність та амплітуда руху кінцівок залишалась сталою. Була показана можливість руху по складній траєкторії без виконання поворотів корпусу гексапода, що з одного боку зменшує час на проходження шляху, з іншого може навантажувати обчислююче ядро додатковими розрахунками.

Проведено моделювання руху гексапода з однією пошкодженою кінцівкою в режимі «паркування», при якому пошкоджена кінцівка умовно закидається на корпус для зменшення розбалансування робота при русі. Дослідження показали відхилення від прямолінійної траєкторії у бік пошкодженої кінцівки, що дозволяє внести коригування в алгоритм руху гексапода для компенсації зазначеного дрейфу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] The Fourth Industrial Revolution. [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://law.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf
- [2] CoppeliaSim. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.coppeliarobotics.com>
- [3] Ilya Platov, Oleksii Pavlovskiy, Yuliia Pavlovska «Hexapod movement algorithms to avoid interference. Angular movement» *Вісник НТУУ «КПІ» Серія «Приладобудування»* Київ, №62 (2). 2021. р. 58-64
- [4] Короленко Я.Р., Павловська Ю.О. «Моделювання руху крокуючого робота з несправною кінцівкою у середовищі MATLAB». *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, Том 35 (74), №5. 2024.

Секція 2.

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

УДК 535.8+535.5

Д.Д. Анісімов¹, студент гр. ПБ-41мн, к.т.н., доц. Синявський І. І.^{1,2}, к.ф.м.н., доц. Оберемок Є.А.³

¹КПІ ім. Ігоря Сікорського, ²Головна астрономічна обсерваторія НАН України, ³Київський національний університет ім. Т. Шевченка

ГЕНЕРАТОР ЧАСТКОВО ПОЛЯРИЗОВАНОГО ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ТА КАЛІБРУВАННЯ ПОЛЯРИМЕТРІВ

Анотація. У статті розглянуто конструкцію еталонного генератора поляризованого випромінювання з керованим ступенем лінійної поляризації, який може бути використаний для тестування та калібрування поляриметрів та спектрополяриметрів, у тому числі зображуючих, у межах спектрального діапазону 450 – 900 нм. Основу генератора складають пластини, крізь які пропускається неполяризоване оптичне випромінювання. Внаслідок узгодженого нахилу пластин кут падіння на них вхідного випромінювання змінюється і на виході випромінювання набуває часткової лінійної поляризації. В роботі наведено результати моделювання генератора у різних конфігураціях з використанням пакету прикладних програм Zemax. Робочий спектральний діапазон розглянутого генератора може бути розширений та залежить від спектральних характеристик пропускання оптичних матеріалів. Даний пристрій планується використати для тестування зображуючих поляриметрів.

Ключові слова: поляризація, генератор поляризованого випромінювання, автоматизація тестування

ВСТУП

Поляриметри дедалі частіше використовуються у астрономічних дослідженнях та при вирішенні задач дистанційного зондування Землі з борту супутників [1]. Поєднання фотометричних, спектральних та поляриметричних вимірювань дозволяє зменшувати невизначеність при інтерпретації результатів дистанційних досліджень та розробляти складніші і точніші моделі досліджуваних об'єктів та явищ. Чим складніша та детальніша модель, тим жорсткіші вимоги висуваються до точності поляриметричних вимірювань. Калібрування та тестування поляриметрів для дистанційних досліджень - доволі складний процес. Щоб задовольнити цим вимогам необхідно проводити передпольотні калібрування, а також калібрування під час роботи приладу на орбіті [2]. Вони, зокрема, передбачають використання еталонних джерел поляризованого випромінювання. Як еталонні, іноді, використовують природні джерела – поляризаційні стандарти. До таких поляризаційних стандартів відносяться деякі зорі та Місяць. Недолік природних стандартів у тому, що вони мають фіксований вид та ступінь поляризації і доступні протягом обмеженого проміжку часу. З цієї точки зору штучні джерела поляризованого випромінювання є набагато більш привабливі, оскільки вони можуть бути доступні завжди і, потенційно, мати керовані характеристики. Автоматизація керування характеристиками джерела поляризованого випромінювання може бути ключовою для забезпечення максимальної точності калібрування та всебічності тестування поляриметра.

У Головні астрономічній обсерваторії НАН України, у співробітництві з Київським політехнічним інститутом ім. Ігоря Сікорського, розробляється супутникова платформа типу SubSat 12U, однією із задач якої є дослідження аерозолів в земній атмосфері. В якості корисного навантаження використовуються зображуючі поляриметри. Принципи побудови поляриметрів описані в [3]. Також розроблена методика їх калібрування [4].

Однак, існує проблема лабораторного тестування вказаних поляриметрів, що реєструють частково поляризоване випромінювання зі значеннями рівнів ступеню поляризації тотожними вимірюванням на орбіті супутника, що можуть складати від одиниць до десятків процентів. Тому виникла необхідність пошуку рішень генерації поляризованого випромінювання, параметри ступеню поляризації якого можна було б прецизійно та автоматизовано змінювати в процесі тестування та апробації роботи приладів.

МЕТА РОБОТИ

Формування схемної побудови генератора частково поляризованого випромінювання, аналіз його параметрів для подальшої реалізації у вигляді стенду для поляризаційного тестування зображуючих поляриметрів.

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ

На рис. 1 представлена схема генератора частково поляризованого випромінювання, що складається з джерела повністю деполаризованого світла 1 (фотометрична сфера), оптичної системи 2, що формує плоскопаралельний світловий пучок, система плоских пластин (вікна Брюстера) 3, що розташовані під заданим кутом до напрямлення розповсюдження світла та власне поляризаційного приладу, що тестується 4.

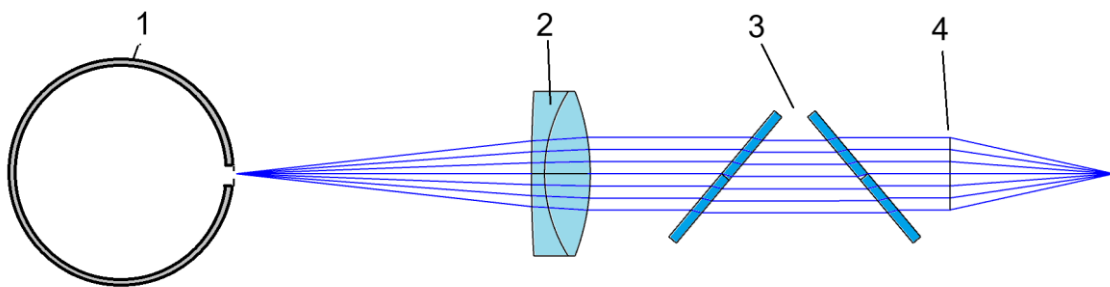


Рисунок 1. Принцип побудови генератора поляризованого випромінювання.

Спектральний діапазон роботи визначається, з одного боку - елементом спектральної фільтрації самого поляриметра, з іншого - спектральними властивостями джерела випромінювання. На рис. 1 показано одну пару пластин. Основне призначення другої пластини компенсація відхилення (зміщення променя) від початкового положення. Кількість пар пластин може бути довільною.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі виконано аналіз залежності ступеню лінійної поляризації (Degree of Linear Polarization - DOLP) на виході генератора від кількості вікон Брюстера, їх нахилу, а також залежність від довжини хвилі. Принцип дії полягає у використанні вікон Брюстера, які забезпечують мінімальні втрати для однієї компоненти поляризації світла під кутом. Це дозволяє ефективно поляризувати випромінювання і контролювати його характеристики шляхом зміни геометрії та спектральних параметрів.

Для автоматизації розрахунків було використано програмний пакет Ansys Zemax Studio, що дозволяє проводити поляризаційний аналіз розповсюдження променів в оптичній системі, а саме Polarization Pupil Map [5].

Кількість пар пластин.

Зміна DOLP (degree of linear polarization) відбувається шляхом повороту пластин по відношенню до розповсюдження променя. Зі збільшенням кута повороту збільшується значення DOLP. Була оцінена залежність значення DOLP від максимального кута повороту пластин для трьох типів : одна пара, дві пари, три пари (табл.1).

Таблиця 1. Залежність максимального DOLP (при λ_{450} нм, 50°) від кількості пластин

Максимальне значення DOLP, %		
		

Як видно із табл. 1 дві пари пластин дають достатньо високе значення DOLP, тому для подальшого аналізу та використання ми зупинилися на цьому варіанті.

АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ ДО ЗМІНИ КУТА ПОВОРОТУ ДЛЯ РІЗНИХ ДОВЖИН ХВИЛЬ.

За допомогою програмного пакету Ansys Zemax Studio проведено аналіз чутливості для різних довжин хвиль та кутів (табл.2).

Таблиця 2. Значення чутливості відповідно до кутів та довжин хвиль.

Кут повороту	DOLP, %							
	$\lambda_{450, \text{нм}}$	$\lambda_{500, \text{нм}}$	$\lambda_{600, \text{нм}}$	$\lambda_{650, \text{нм}}$	$\lambda_{700, \text{нм}}$	$\lambda_{800, \text{нм}}$	$\lambda_{850, \text{нм}}$	$\lambda_{900, \text{нм}}$
50°	45,44	45,09	44,64	44,49	44,36	44,15	44,07	43,99
45°	35,74	35,45	35,06	34,93	34,82	34,64	34,57	34,51
40°	27,31	27,07	26,76	26,65	26,56	26,42	26,36	26,31
35°	20,21	20,02	19,78	19,69	19,63	19,52	19,48	19,44
30°	14,37	14,24	14,06	14,00	13,95	13,87	13,84	13,81
25°	9,69	9,60	9,48	9,44	9,40	9,350	9,33	9,31
20°	6,05	5,99	5,92	5,89	5,87	5,83	5,82	5,81
15°	3,34	3,31	3,26	3,25	3,24	3,22	3,21	3,20
10°	1,46	1,45	1,43	1,42	1,42	1,41	1,41	1,40
5°	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
0°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблиця 1 ілюструє залежності степені лінійної поляризації DOLP для різних

довжин хвиль від куту повороту пластин, які в подальшому будуть використовуватися для моделювання механізму повороту пластин.

ВИСНОВКИ

У роботі представлено результати аналізу характеристик ступеню лінійної поляризації на виході системи пар оптичних вікон (вікон Брюстера). Для автоматизації розрахунків було використано програмне забезпечення ANSYS ZEMAX STUDIO. В якості оптичного матеріалу для розрахунків було прийнято скло марки N-BK7. Результати досліджень дали змогу оцінити чутливість зміни DOLP до кута повороту пар пластин, при різних їх кількостях. Дані результати є необхідними для подальшої роботи, аналізу та підготовки пропозицій конструкції механізмів обертання. Одним з недоліків вказаного генератора поляризації є невелике поле зору, що складає $6 - 8^\circ$. Ця проблема буде розглянута нами в подальших дослідженнях.

СПИСОК ВКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Dubovik O., Holben B., Lapyonok T., Tanré D., Ichoku C., Kaufman Y.J., et al. Polarimetric remote sensing of atmospheric aerosols: instruments, methodologies, results, and perspectives // *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. 2019. Vol. 224. P. 474–511. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2018.11.024.
- [2] Huang C., Chang Y., Xiang G., Han L., Chen F., et al. Polarization measurement accuracy analysis and improvement methods for the directional polarimetric camera // *Optics Express*. 2020. Vol. 28. P. 38638–38666.
- [3] Сиявський І.І., Іванов Ю.С., Сосонкін М.Г., Міліневський Г.П., Кошман Г.В. Мультиспектральний іміджер–поляриметр космічного проекту «Аерозоль-УА» // *Космічна наука і технологія*. 2018. № 24 (3). С. 23–32.
- [4] Milinevsky G., Oberemok Y., Syniavskiy I., Bovchaliuk A., Kolomiets I., Fesianov I., Wang Y. Calibration model of polarimeters on board the Aerosol-UA space mission // *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. 2019. Vol. 229. P. 92–105.
- [5] Zemax manual. Захищена сторінка. [Електронний ресурс] URL: <https://neurophysics.ucsd.edu/Manuals/Zemax/ZemaxManual.pdf> (дата звернення: 23.11.2024).

Науковий керівник, к.т.н., доц. Сиявський І.І.

УДК 004.942:656.13.054.5:681.586

Н.В. Бірюк, студент гр. ПО-11, д. т. н., проф. Боровицький В.М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ДОРОЖНЬОГО РУХУ З ВИКОРИСТАННЯМ PYTHON ТА OPENCV

Анотація. У статті розглянуто моделювання дорожнього руху з метою вдосконалення систем автономного керування транспортними засобами. Представлено модель, яка інтегрує дані сенсорів (камери, LiDAR, радарів та ультразвукових датчиків) для аналізу навколишнього середовища, ідентифікації перешкод та прийняття рішень у реальному часі. Модель протестована у віртуальному середовищі, що імітує реальні дорожні умови, з використанням мови Python і бібліотек OpenCV та Matplotlib. Результати дослідження підтвердили ефективність запропонованої моделі для розробки та тестування алгоритмів автономного керування, що сприяє підвищенню безпеки і ефективності транспортних систем.

Ключові слова: моделювання дорожнього руху, аналіз дорожньої ситуації, сенсорні системи, автономне водіння, обробка даних, транспортна безпека, Python, OpenCV, Matplotlib

ВСТУП

Сучасні технології автономного водіння є одним із провідних напрямів інженерних досліджень, що мають значний потенціал для зниження кількості дорожньо-транспортних пригод та підвищення ефективності транспортних систем. За результатами досліджень, автономні автомобілі можуть суттєво мінімізувати ризики аварій, зумовлених людським фактором, а також сприяти зменшенню викидів CO₂ через оптимізацію маршрутів [1].

Основою функціонування цих систем є комплексне використання сенсорів, зокрема камер, LiDAR, радарів і ультразвукових датчиків. Ці сенсори створюють детальну модель навколишнього середовища, що дозволяє транспортним засобам приймати рішення в реальному часі. Саме аналіз і інтеграція даних із сенсорів є ключовими чинниками забезпечення безпеки руху [2].

З огляду на це, метою дослідження є розробка моделі системи дорожнього руху, яка інтегрує сенсорні дані для аналізу навколишнього середовища, виявлення перешкод і створення алгоритмів прийняття рішень. Це сприятиме забезпеченню автономності та безпеки транспортних засобів.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для досягнення поставленої мети було розроблено складну модель дорожнього руху у віртуальному середовищі, яка максимально точно відтворює умови реального транспортного простору, з урахуванням різноманітних дорожніх ситуацій та взаємодії транспортних засобів. Основним компонентом цієї моделі є транспортний засіб, оснащений сенсорами, які можна використати для імітування функціонування реальних систем допомоги водіям, зокрема таких, як системи попередження зіткнень, адаптивного круїз-контролю та системи контролю за смугою руху. Сенсори забезпечують виявлення і точне визначення просторового положення об'єктів у чотирьох основних зонах видимості: передній, задній, лівій та правій. Це дозволяє моделювати широкий спектр потенційних дорожніх ситуацій з урахуванням різноманітних факторів..

З метою всебічного аналізу ефективності роботи сенсорних систем, у межах моделювання створено багатосмугову дорогу, де транспортні засоби розташовані в різних просторових позиціях, що відповідають реальним умовам.

Такий підхід дозволяє моделювати реальні сценарії дорожнього руху, зокрема такі, як взаємодія транспортних засобів, дотримання безпечної дистанції між ними, зміну смуги руху та потенційне уникнення зіткнень, а також виявлення й обробку можливих перешкод (рис. 1).

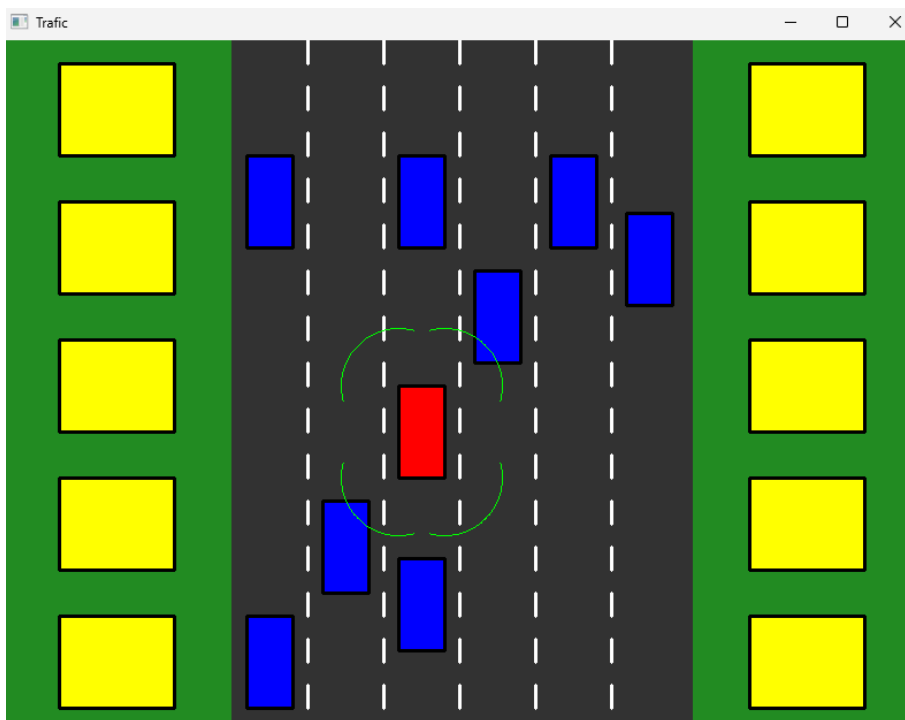


Рисунок 1. Модель багатосмугової дороги

Запропонована методика дозволяє не лише оцінити точність визначення просторового положення об'єктів, але й тестувати алгоритми обробки даних і глибокий аналіз дорожніх ситуацій. Дослідження охоплює такі етапи: ідентифікацію перешкод у різних зонах видимості; обробку та фільтрацію даних, отриманих з сенсорів, для побудови точних моделей навколишнього середовища; візуалізацію результатів за допомогою полярних графіків та інших методів для полегшення інтерпретації даних.

Розробка моделі здійснена за допомогою мови програмування Python із використанням спеціалізованих бібліотек OpenCV і Matplotlib [3], що дозволяє візуалізувати, контролювати та оптимізувати параметри тестування. Модель багатосмугової дороги є гнучким інструментом, що дає змогу динамічно змінювати параметри дорожнього середовища, зокрема розташування транспортних засобів, їх швидкість, напрямок руху та типи перешкод. Це дозволяє досліджувати та тестувати різноманітні конфігурації дорожніх ситуацій і ключові етапи роботи сенсорних систем, зокрема:

- ідентифікація перешкод, які можуть знаходитися в різних положеннях та рухатися в межах зон видимості;
- оцінка відстані до об'єктів з урахуванням складної геометрії та дорожніх умов;
- побудова інтерактивних візуальних моделей для аналізу поведінки транспортних засобів у критичних ситуаціях і складних умовах дорожнього руху (рис. 2).

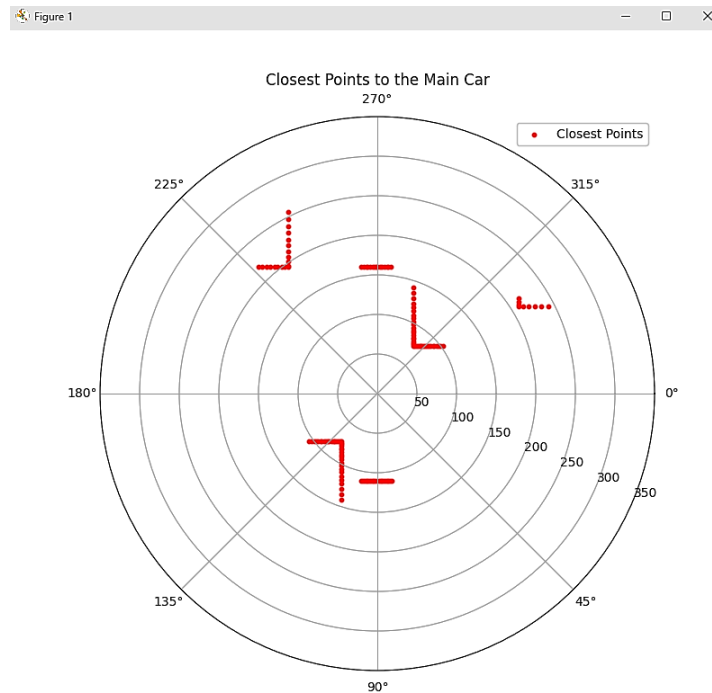


Рисунок 2. Візуальна модель для аналізу дорожньої ситуації

Розроблена модель демонструє потенціал для ефективної ідентифікації перешкод та оцінки відстані до них у реальному часі. Ця функціональність є ключовою для впровадження технологій активної безпеки у дорожній рух. Попередній аналіз і тестування моделі підтверджують її працездатність у лабораторних умовах, однак повноцінна оцінка ефективності потребує додаткових експериментів і симуляцій. На основі теоретичного обґрунтування і проведених попередніх тестів, можна зробити висновок про значний потенціал застосування розробки у системах автоматизації транспортних засобів, зокрема в адаптивних круїз-контролях та системах екстреного гальмування. Протестовані моделі продемонстрували здатність точно ідентифікувати перешкоди та визначати відстань до них у реальному часі, що є важливим аспектом для підвищення безпеки дорожнього руху. Однак, для підтвердження реальної ефективності розробленої моделі у складних дорожніх умовах, необхідно провести розширені експериментальні дослідження за участю реальних транспортних засобів і моделювання різних сценаріїв дорожнього руху.

ВИСНОВКИ

Розроблена модель має потенціал для підвищення безпеки дорожнього руху за рахунок точної ідентифікації перешкод та визначення відстані до них у реальному часі. Подальші експерименти й симуляції є критично важливими для підтвердження її ефективності у реальних умовах. Запропонована модель створює базу для подальшого вдосконалення автономних транспортних систем, зокрема в контексті інтеграції цих рішень у реальну транспортну інфраструктуру. Вона відіграє важливу роль у розвитку інтелектуальних

транспортних систем, що відповідають вимогам безпеки, ефективності та сталого розвитку у глобальному контексті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Davide Santo, Leonardo Surico. *Sensor Fusion & Autonomous Drive Vehicle Algorithms*. Session FTF-AUT-N1782, 2016.
- [2] Yeong, D.J., Velasco-Hernandez, G., Barry, J., Walsh, J. *Sensor and Sensor Fusion Technology in Autonomous Vehicles: A Review*. *Sensors* 2021, 21, 2140. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21062140>.
- [3] Боровицький В.М. *Розробка програм для цифрової обробки зображень з застосуванням OpenCV*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.

Наук. керівник – д. т. н., професор Боровицький В.М.

УДК 621.384.3

А.Р. Крутиус, студент гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Колобродов В.Г.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ НА БАЗІ ПОЛЯРИМЕТРИЧНИХ ТЕПЛОВІЗОРІВ

Анотація. У статті розглянуто економічні аспекти застосування оптико-електронних систем, зокрема поляриметричних тепловізорів, у різних галузях промисловості. Наведено аналіз ефективності використання даних систем у контексті зменшення витрат і збільшення максимальної дальності виявлення, розпізнавання та ідентифікації.

Ключові слова: поляриметричний тепловізор, економічна ефективність, оптико-електронна система, оптимізація, інфрачервоне зображення.

ВСТУП

Оптичні системи для спостереження в інфрачервоному діапазоні відіграють важливу роль у військовій і цивільній сферах, але традиційні методи, засновані на інтенсивності випромінювання, часто недостатньо ефективні в складних умовах. Поляриметричні тепловізори підвищують надійність виявлення завдяки врахуванню поляризаційних характеристик, що дозволяє краще розрізняти цілі на фоні. У статті розглянуто технічні та економічні аспекти таких систем, обґрунтовано їх застосування у різних галузях.

МЕТА РОБОТИ

Метою статті є оцінка економічної ефективності поляриметричних тепловізорів для виявлення цілей у складних умовах. Представлено методи оцінки технічних та економічних показників, які підтверджують переваги таких систем. Результати демонструють переваги їх використання порівняно з традиційними методами та дають рекомендації для оптимального застосування в промисловості й обороні.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ТОЧНОСТІ ПОЛЯРИМЕТРИЧНИХ ТЕПЛОВІЗОРІВ

Поляриметричні тепловізори мають перевагу перед традиційними системами завдяки здатності розрізняти об'єкти за їхніми поляризаційними характеристиками, такими як ступінь поляризації (P) та кут поляризації (ϕ).

Ці параметри дозволяють відокремлювати ціль від фонового випромінювання, навіть у складних умовах, таких як наявність природного шуму або схожість характеристик цілі та оточення. [1]

Ступінь поляризації визначається за формулою:

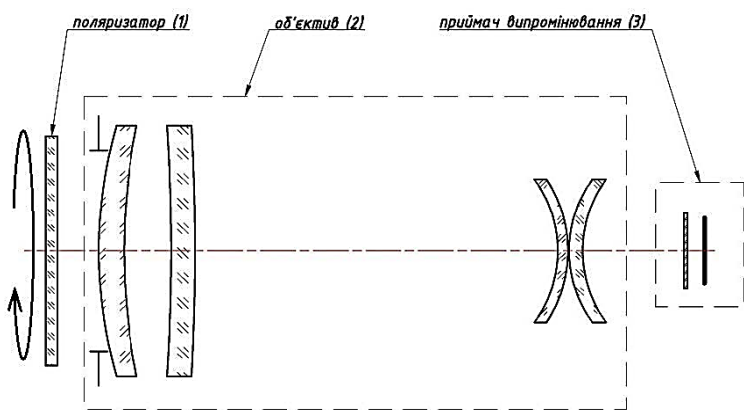


Рис. 1 Оптична схема поляриметричного тепловізора [1]

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1)$$

де I_{\max} та I_{\min} – максимальна та мінімальна інтенсивності випромінювання, відповідно. Цей показник демонструє, наскільки випромінювання цілі є поляризованим у порівнянні з фоном.

Кут поляризації (ϕ) обчислюється як:

$$\phi = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{U}{Q}\right), \quad (2)$$

де U та Q — параметри Стокса, які характеризують компоненти поляризованого випромінювання.

Енергетична світність тіла описується формулою Планка:

$$M_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}, \quad (3)$$

де

$h = 6.626 * 10^{-34} \text{ Дж} * \text{с}$ – стала Планка;

$c = 3 * 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ – швидкість світла;

$k = 1.381 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ – стала Больцмана;

$\lambda = 10 \mu\text{м} = 10 * 10^{-6} \text{ м}$ – типова довжина хвилі середньохвильового інфрачервоного діапазону;

T – температура цілі.

Нехай температура цілі становить $T_t = 320\text{К}$ (наприклад, людина). Температура фону становить $T_b = 300\text{К}$ (наприклад, земля). Визначимо енергетичну світність для цілі та фону підставивши числові значення:

$$M_{\lambda,t} = \frac{2 * 3.14 * 6.626 * 10^{-34} \text{ Дж} * \text{с}}{(10 * 10^{-6} \text{ м})^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{6.626 * 10^{-34} \text{ Дж} * \text{с} * 3 * 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 * 10^{-6} \text{ м} * 1.381 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} * 320\text{К}}\right) - 1} \approx 4.22 * 10^7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (5)$$

$$M_{\lambda,b} = \frac{2 * 3.14 * 6.626 * 10^{-34} \text{ Дж} * \text{с}}{(10 * 10^{-6} \text{ м})^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{6.626 * 10^{-34} \text{ Дж} * \text{с} * 3 * 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 * 10^{-6} \text{ м} * 1.381 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} * 300\text{К}}\right) - 1} \approx 3.12 * 10^7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (6)$$

Обчислимо контрастність за наступною формулою:

$$C_{\text{traditional}} = \frac{M_{\lambda,t} - M_{\lambda,b}}{M_{\lambda,b}}, \quad (7)$$

де $M_{\lambda,t}$ та $M_{\lambda,b}$ - енергетична світність цілі та фону відповідно.

Підставимо числові значення в формулу (7):

$$C_{traditional} = \frac{4,22 \cdot 10^7 - 3,12 \cdot 10^7}{3,12 \cdot 10^7} \approx 0,354 \quad (8)$$

Для поляриметричного тепловізійного зображення контраст визначається з урахуванням сумарної інтенсивності:

$$I_{polarimetric} = I + P \cdot I \cdot \cos^2(\theta), \quad (9)$$

де I – інтенсивність випромінювання; P – ступінь поляризації; θ – кут поляризації.

Контраст:

$$C = \frac{I_{t,polarimetric} - I_{b,polarimetric}}{I_{b,polarimetric}} \quad (10)$$

Будемо вважати що ми спостерігаємо ціль та фон під прямим кутом, тоді

$$I_t = 4,22 \cdot 10^7 \frac{Bm}{M^2}, \quad I_b = 3,12 \cdot 10^7 \frac{Bm}{M^2}.$$

Нехай ступінь поляризації для цілі $P_t = 0,3$, ступінь поляризації для фону $P_b = 0,1$ а кут поляризації $\theta = 45^\circ$. Розрахуємо інтенсивність для цілі та для фону з урахуванням поляризації:

$$I_{t,polarimetric} = 4,22 \cdot 10^7 \frac{Bm}{M^2} + 0,3 \cdot 4,22 \cdot 10^7 \frac{Bm}{M^2} \cdot \frac{1}{2} \approx 4,84 \cdot 10^7 \frac{Bm}{M^2} \quad (11)$$

$$I_{b,polarimetric} = 3,12 \cdot 10^7 \frac{Bm}{M^2} + 0,3 \cdot 3,12 \cdot 10^7 \frac{Bm}{M^2} \cdot \frac{1}{2} \approx 3,28 \cdot 10^7 \frac{Bm}{M^2} \quad (12)$$

Розрахуємо контраст між ціллю та фоном з урахуванням поляризації:

$$C_{traditional} = \frac{4,84 \cdot 10^7 - 3,28 \cdot 10^7}{3,28 \cdot 10^7} \approx 0,475 \quad (13)$$

При цьому збільшення контрасту розрахуємо за формулою:

$$C = \frac{C_{polarimetric} - C_{traditional}}{C_{traditional}} = \frac{0,475 - 0,354}{0,354} \approx 0,34 \quad (14)$$

Тобто в даній ситуації приріст контрасту має складати приблизно 34%.

МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТ НА ОБРОБКУ ПОМИЛКОВИХ ТРИВОГ

Для виконання розрахунків економії у системах з використанням поляриметричних тепловізорів необхідно оцінити витрати, пов'язані з однією хибною тривоною у традиційних і поляриметричних системах. Припустимо такі базові дані: [2]

Витрати на одну хибну тривогу:

Виїзд спеціальної групи – 500 грн.

Пальне для транспорту – 200 грн.

Час персоналу (3 людини по 2 години, 100 грн/год) – 600 грн.

Зношування обладнання – 300 грн. Загальна вартість однієї хибної тривоги: 1,600 грн.

Частота хибних тривог:

У традиційній системі – 120 хибних тривог/рік.

У поляриметричній системі – 40 хибних тривог/рік.

Загальні витрати на хибні тривоги обчислюються за формулою:

$$C = N * V, \quad (15)$$

де C – загальні витрати, N – кількість хибних тривог, V – витрати на одну хибну тривогу.

В дослідженнях зазначається, що для низькоякісних систем частота помилкових тривог може становити до 10% від загальної кількості спрацювань, а для якісніших – близько 5%. Якщо уявити, що система проводить приблизно 2400 спрацювань на рік (200 на місяць), то частота хибних тривог буде:

$$N_{\text{традиційна}} = 0.05 * 2400 = 120 \text{ хиб.тривог/рік} \quad (16)$$

Згідно з дослідженнями [3], поляриметричні системи можуть знизити кількість хибних тривог до 1–2% від загальної кількості спрацювань. Для тих самих 2400 спрацювань на рік частота хибних тривог становитиме:

$$N_{\text{традиційна}} = 0.02 * 2400 = 40 \text{ хиб.тривог/рік} \quad (17)$$

Розрахуємо загальні витрати для традиційної системи:

$$C_{\text{традиційна}} = 120 * 1600 = 192000 \text{ грн/рік} . \quad (18)$$

Для поляриметричної систем:

$$C_{\text{поляриметрична}} = 40 * 1600 = 64000 \text{ грн/рік} . \quad (19)$$

Економія:

$$\Delta C = C_{\text{традиційна}} - C_{\text{поляриметрична}} = 192000 - 64000 = 128000 \text{ грн/рік} . \quad (20)$$

ВИСНОВКИ

У статті проаналізовано використання поляриметричних тепловізорів для підвищення точності виявлення цілей та зниження витрат. Розглянуто оцінку економічної ефективності, включаючи скорочення витрат на обробку хибних тривог, і технічні переваги, як-от підвищення контрасту зображень завдяки поляризаційним характеристикам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Karpenko, I. V., Kolobrodov, V. G., & Sokol, B. V. (2018). Polarization method of detecting the thermal contrast target against the background of interference. Scientific Journal Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences, (1), 33-37.
- [2] Duncan L. Hickman, Helge Bürsing, Gary W. Kamerman, Ove Steinvall Security + Defence | 13-18 SEPTEMBER 2021 Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications XVIII and Electro-Optical Remote Sensing XV. SPIE.
- [3] J. Larry Pezzaniti a, David B. Chenault a, Frank Pantuso b, Igor Semyonov Comparing thermal and polarization sensing modes in a LWIR imaging polarimeter Vol. 12112, 121120B. 2022 .SPIE.

Секція 3.

**Ефективність технологій та
автоматизованих виробничих систем
в приладобудуванні**

UDC 614.8.084+629.73

*I.E. Rudkovskiy, student of group PB-3Imp, associate professor Stelmakh N.V.
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE SPATIAL POSITION OF AN OBSERVATION OBJECT FOR SEARCH AND RESCUE UAVS

Abstract. The study proposes a mathematical model for determining the spatial position of an observation object for search and rescue UAVs. The model is based on analyzing the mutual arrangement of six key body points and a system of inequalities for classifying five primary human states.

Keywords: unmanned aerial vehicle, mathematical model, computer vision, position classification.

INTRODUCTION

The advancement of unmanned aerial vehicle (UAV) technologies has opened new opportunities for conducting search and rescue operations. The use of drones enables rapid surveying of large areas, gathering information from hard-to-reach locations, and promptly responding to emergencies. Of particular importance is the ability of UAVs not only to detect victims but also to determine their condition based on body position, which is critically important for assessing the urgency of providing aid [1].

Modern technical vision systems installed on UAVs ensure high-quality video recording and real-time data transmission. However, the efficiency of their use significantly depends on the ability to automatically analyze the obtained data and classify the condition of identified individuals. Existing methods for determining human body positions often require substantial computational resources or fail to provide sufficient accuracy under conditions of limited visibility and complex backgrounds [2].

Therefore, the development of mathematical models for automated determination of human positions based on the coordinates of key body points is a relevant task. Solving this problem will enhance the efficiency of search and rescue operations using UAVs.

MAIN METHODS FOR DETERMINING OBJECT POSITIONS

Various approaches are used to determine a person's position in space, each with its own advantages and limitations. Methods based on deep neural networks provide high recognition accuracy but require significant computational resources and extended data processing times. This considerably limits their application in real-time systems, particularly when deployed on UAVs [3].

An alternative approach is the use of geometric analysis methods, which rely on determining the mutual arrangement of key human body points. These methods require fewer computational resources and can operate in real-time. However, their accuracy is highly dependent on the quality of input data and the correctness of determining the coordinates of reference points [4].

A separate category comprises hybrid methods that combine the advantages of neural network and geometric approaches. These methods use neural networks for preliminary image processing and key point extraction, followed by geometric algorithms for classifying body positions. This approach achieves an optimal balance

between accuracy and performance [5].

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL

In developing a mathematical model for determining human positions, a key aspect is the selection of an optimal set of reference points that allows for unambiguous classification of different body positions. These points must be clearly visible in images, consistently detected by computer vision algorithms, and sufficiently informative for classification purposes. Another important consideration is minimizing the number of reference points to reduce computational load while maintaining the required classification accuracy.

The developed mathematical model forms the basis of a real-time automated system for determining human positions and is grounded in analyzing the mutual arrangement of key body points. The coordinates of the shoulders, hips, and knees were chosen as primary markers, as their relative positions provide the most informative representation of a person's posture and are well-detected by modern computer vision algorithms.

A1(x1; y1)- coordinates of the left shoulder; A2(x2; y2)- coordinates of the right shoulder;
B1(x3; y3)- coordinates of the left hip; B2(x4; y4)- coordinates of the right hip;
C1(x5; y5)-coordinates of the left knee; C2(x6; y6)- coordinates of the right knee.

The proposed model automatically classifies the primary body positions: lying, sitting, kneeling, standing, and bent. For each position, mathematical conditions are defined to describe the mutual arrangement of the key body points.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Lying position: } |y_1 - y_3| < 0.1, |y_2 - y_4| < 0.1 \\ \text{Kneeling: } y_3 < y_5, y_4 < y_6, y_1 > y_3, y_2 > y_4 \\ \text{Sitting: } y_1 < y_3, y_2 < y_4, y_3 > y_5, y_4 > y_6 \\ \text{Standing: } y_1 < y_3, y_2 < y_4, y_3 < y_5, y_4 < y_6 \\ \text{Bent: other conditions.} \end{array} \right.$$

This system takes into account the relative coordinates of the points along the vertical axis, ensuring invariance to image scale and distance to the object. As a result, the process of classifying the body position is fully automated, eliminating the need for additional parameter adjustments during operation.

CONCLUSION

The implementation of this mathematical model in the UAV control system allows for automating the process of initial assessment of the victims' condition during search and rescue operations. Automatic position classification provides rescuers with crucial information for making decisions regarding the priority and method of assistance.

The developed system of inequalities easily integrates with existing computer vision algorithms and can operate in real-time due to the simplicity of mathematical calculations. This enables UAVs not only to detect individuals but also to instantly determine their position and display this information on the operator's screen.

In the future, it is planned to expand the model's capabilities to recognize additional body positions and account for partial object overlap, which will improve its effectiveness in real-world rescue operations.

REFERENECES

- [1] Eisenbeiss H. et al. "A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition", International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2004. – Т. 36. – №. 5/W1. – С. 1-7.
- [2] Стельмах Н. В., Мандровська С. О. "Огляд, аналіз і прогноз систем керування малогабаритними БПЛА", Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», с.209-210, 2023. Дата звернення: 10 верес. 2023 [Онлайн]. Доступно: <https://conference-chernihivpolytechnik.com/wp-content/uploads/2023/06/Tezy-2023-Part-1.pdf>
- [3] Z. Cao, T. Simon, S. -E. Wei and Y. Sheikh, "Realtime Multi-person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields," 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Honolulu, HI, USA, 2017, pp. 1302-1310, doi: 10.1109/CVPR.2017.143.
- [4] K. Isakov, E. Burkov, V. Lempitsky and Y. Malkov, "Learnable Triangulation of Human Pose," 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), Seoul, Korea (South), 2019, pp. 7717-7726, doi: 10.1109/ICCV.2019.00781.
- [5] Yucheng, Chen & Tian, Yingli & He, Mingyi. (2020). Monocular human pose estimation: A survey of deep learning-based methods. Computer Vision and Image Understanding. 192. 102897. 10.1016/j.cviu.2019.102897.
- [6] Stelmakh, N., Mandrovska, S., & Galagan, R. (2024). APPLICATION OF RESNET-152 NEURAL NETWORKS TO ANALYZE IMAGES FROM UAV FOR FIRE DETECTION. Informatyka, Automatyka, Pomiarы W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 14(2), 77–82. <https://doi.org/10.35784/iapgos.5862>

Sciences. Supervisor – Ph.D., Assoc. Prof. Stelmakh N.V.

УДК 681.51:621.746.3

Б.В. Башкір¹, студент гр. ПБ-31мн, к.е.н., Тимошенко О. В.²

¹КПІ ім. Ігоря Сікорського, ²ДП «КІЇВОБЛСТАНДАРТАМЕТРОЛОГІЯ»

МІНІМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТАХ

Анотація. В роботі запропоновано підхід до модернізації функціонування термопластавтомата з метою забезпечення мінімізації енергоспоживання та оптимального керування. Суть модернізації полягає в заміні традиційних методів нагріву сировини в екструдері та встановленню допоміжних компонентів для термоізоляції нагрівних компонентів, що дозволило скоротити наприклад час нагріву на 20%.

Ключові слова: термопластавтомат, енергоефективність, ізоляція, нагрів.

ВСТУП

Сучасне виробництво все більше орієнтується на енергоефективність через підвищення цін на енергоресурси та зростання вимог до екологічності. Термопластавтомати споживають значну кількість енергії, більша частина якої йде на нагрівання полімеру і підтримання робочої температури. Тому мінімізація енергоспоживання без шкоди для якості виробів є ключовим завданням.

ОСНОВНІ НАПРЯМИ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТІ

Основними напрямками для мінімізації енергоспоживання в термопластавтоматі є ізоляція нагрівальних зон, бо застосування термоізоляційних матеріалів навколо нагрівальних елементів зменшує втрати тепла. Також, резистивні нагрівачі, які зустрічаються майже в усіх традиційних системах мають великі тепловтрати. Раціональним рішенням цієї проблеми є перехід на індукційний нагрів.

Ізоляція нагрівальних зон – це процес покриття нагрівальних елементів і циліндрів термопластавтомата спеціальними термоізоляційними матеріалами. Мета – мінімізувати втрати тепла в навколишнє середовище і спрямувати всю енергію на підтримання необхідної температури в зоні обробки полімеру. Впровадження ізоляції дуже добре впливає на мінімізацію енергоспоживання. Така модернізація також зменшує вплив зовнішніх факторів, таких як температура в приміщенні або протяги. Це забезпечує стабільніший температурний режим для плавлення полімеру. Також, можна досягти зменшення навколишньої температури. Оператори працюють у комфортніших умовах, оскільки ізольовані машини виділяють менше тепла в цех. Ще ізоляція здатна захищати електронні та механічні компоненти машини від перегрівання. Види ізоляції для термопластавтоматів бувають двох видів: гнучкі ковдри та твердотільні кожухи. Легкі ковдри використовуються для покриття нерівних поверхонь, легкі у монтажі. Твердотільні кожухи забезпечують довговічність та ефективність, але потребують точного виготовлення під форму циліндра. Для впровадження теплової ізоляції в термопластавтоматах використовують різні матеріали, але найпопулярнішими являються скловолокно, керамічне волокно, силіконові покриття та різноманітні композитні покриття. Скловолокно являється найдешевшим варіантом, та найпростішим в монтажі. Керамічне волокно має низьку вагу і дуже низьку теплопровідність. Силіконові покриття мають високу еластичність, можливе застосування на складних геометричних

поверхнях. Композитні матеріали поєднують властивості різних матеріалів для оптимальної термостійкості та міцності.

Індукційний нагрів має низку переваг. В першу чергу в нього вища ефективність. Тепло генерується безпосередньо в матеріалі нагрівального циліндра, що мінімізує тепловтрати. Також, на відміну від резистивних елементів, які нагріваються самі і передають тепло далі, індукційний нагрів працює точково. Ще однією перевагою цього методу нагріву є те, що він швидше досягає заданої температури завдяки миттєвому генеруванню тепла. Це зменшує час запуску термопластавтомата. Індукційний нагрів на 20–30% енергоефективніший за резистивний завдяки зменшенню втрат тепла. Ще можна додати те, що відсутність безпосереднього контакту між нагрівальними елементами та циліндром знижує знос системи, що гарно може вплинути на довговічність системи.

Окрім індукційного нагріву й ізоляції нагрівальних зон, існує багато інших методів зниження енергоспоживання. Деякі модернізації передбачають заміну традиційних гідравлічних систем на сервоприводи. Це дозволяє забезпечити точніший контроль подачі енергії, та регулювати потужність в залежності від навантаження. Така модернізація забезпечує значну економію енергії, але вона являється складною в реалізації, та несе за собою значні фінансові витрати.

Оптимізація охолоджувальної системи теж може гарно вплинути на економію електроенергії. При її модернізації можна досягти швидшого застигання готового виробу в прес-формі, що скоротить цикл виготовлення деталі. Відповідно, на виготовлення одиниці виробу треба буде менше електроенергії. Така модернізація потребує встановлення спеціальних чиллерів та зміни конструкції самих прес-форм. Така модернізація здатна пришвидшити виробництво та знизити енерговитрати, проте теж вимагає значних фінансових витрат для виробництва.

Найпростішим способом мінімізації енергоспоживання є використання рециклінгових матеріалів, тобто вторинної сировини. Такі пластики вже були термічно обробленими, тому їх плавлення вимагає менше енергії, ніж первинної сировини. Наприклад, рециклінговий поліетилен плавиться приблизно на 10–15% швидше, ніж первинний. Крім того, вторинна сировина дешевша, ніж первинна, що зменшує собівартість продукції. Проте, рециклінгові матеріали часто мають знижені властивості через багаторазову термообробку. Для відновлення або покращення таких матеріалів використовують спеціальні добавки. Вони здатні покращити механічні властивості, термостабільність та естетичні характеристики вторинної сировини.

Всі ці методи здатні зменшити енергоспоживання термопластавтомата. Оптимальна стратегія модернізації залежить в першу чергу від технічного стану обладнання, особливостей його конструкції, бюджету і потреб виробництва.

ВИСНОВКИ

Для мінімізації енергоспоживання для вже існуючого термопластавтомата було запропоновано використання скловолокна марки E-Glass Fiber (електротехнічне скловолокно), яке часто використовується в термоізоляційних

ковдрах і покриттях. Воно більш доступне в фінансовому аспекті ніж існуючі аналоги, а висока термостійкість (до 600⁰С) дозволяє працювати з більшістю полімерів. Також, запропоновано модернізувати екструдер для індукційного нагріву. Для цього необхідно встановити індукційну котушку навколо нагрівального циліндру. Вона необхідна для генерації магнітного поля для створення вихрових струмів. Далі необхідно встановити інвертор для перетворення змінного струму у струм високої частоти, що необхідний для індукції. Наступним кроком буде встановлення контролерів для регулювання потужності нагрівання та забезпечення стабільності процесу. Максимізувати використання вторинної сировини для економії часу для плавлення. При виконанні вище зазначених етапів можна досягти значної мінімізації енергоспоживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Радчук Д.І. Вплив температурних умов на фільтрувальні властивості матеріалів. Науковий вісник національного гірничого університету. 2009. С. 44-47.
- [2] Каплун В.Г., Матвіїшин П.В., Гончар В.А. Дослідження працездатності і надійності термопластавтомата ДБ-33-28 при переробці пластмас. Вісник Хмельницького національного університету. 2008. №4 . С. 85-90.
- [3] Хорев Д. С. Удосконалення системи управління енергоспоживанням технологічного обладнання промислового підприємства : кваліфікаційна робота магістра спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / наук. керівник А. А. Єрофєєва. Запоріжжя : ЗНУ, 2022. 90 с.
- [4] Котлов К. М. Автоматизована система регулювання температури для гарячого ізостатичного пресування : дипломний проект бакалавра : 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Котлов Кирил Миколайович. Київ, 2024. 74 с.
- [5] Sakai T, Seikei-Kakou (2018), International polymer processing, Vol. 17,20, Pages17-216; 109.
- [6] Козар В.С. Розробка автоматизованої системи управління та контролю технологічного процесу лиття полімерів під тиском: Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 2021. 88с. [Електронний ресурс]. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/35495/2/Kozar_VS%20KAs-41.pdf

Наук. керівник – к.т.н., доц. Стельмах Н.В.

УДК 621.865.8

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

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТА МАНІПУЛЯТОРА МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація. У статті розглядаються питання сучасних підходів до аналізу та оптимізації точності позиціонування роботів-маніпуляторів, зокрема шляхом використання методів машинного навчання. Особливу увагу приділено питанню навчання та подальшої інтеграції у систему маніпулятора штучної нейронної мережі для прогнозування значень корекції позиції на основі різних даних про його роботу. Описано результати точності позиціонування шляхом порівняння реальної похибки та похибки з урахуванням прогнозованої корекції, що дозволяє оцінити можливості та потенціал ШНМ у задачах забезпечення оптимальної точності позиціонування.

Ключові слова: робот-маніпулятор, колаборативний робот, точність позиціонування, машинне навчання, штучна нейронна мережа, автоматизація виробничих процесів

ВСТУП

Задача підвищення точності позиціонування роботів-маніпуляторів зумовлена сучасними вимогами до робототехніки у промисловості, приладобудуванні та автоматизації. Постійне зростання вимог до якості та точності виконання операцій, особливо в процесах складання, мікромеханіці та в високотехнологічному виробництві, потребують від роботів-маніпуляторів мінімальних відхилень при виконанні відповідних робіт.

Колаборативні роботи [1] стають все більш затребуваними завдяки своїй гнучкості, безпечності та здатності працювати у взаємодії з людиною. Проте, забезпечення високих стандартів точності потребує врахування як технічних характеристик робота, так і реальних умов його експлуатації, де фактична точність може бути нижче ніж заявлена. Таким чином, дослідження та вдосконалення методів підвищення точності позиціонування маніпуляторів є важливим напрямком для оптимізації роботизованих систем.

У статті описується запропонована система вдосконалення методу підвищення точності позиціонування універсального колаборативного робота-маніпулятора, шляхом аналізу параметрів робота шляхом впровадження штучної нейронної мережі (ШНМ) для корекції його робочої позиції.

ТОЧНІСТЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА ВПЛИВОВІ ФАКТОРИ

Точність [2] є мірою, яка відображає рівень відповідності фактичного результату до заданого або еталонного значення. У контексті даного питання, а саме робототехніки та позиціонування маніпуляторів, точність відображає наскільки близько кінцевий виконавчий елемент або інструмент маніпулятора може досягнути бажаної цільової позиції у просторі. У контексті забезпечення точності позиціонування варто враховувати наступні аспекти [3]:

- 1) абсолютна точність** - відображає здатність системи досягати заданих координат з мінімальним допустимим відхиленням у реальних умовах;
- 2) повторюваність** - відображає здатність робота багаторазово досягати заданої позиції за однакових умов роботи;
- 3) похибка позиціонування** - відображає різницю між заданою цільовою позицією у тривимірній координатній площині і фактичною позицією.

Точність позиціонування є комплексною величиною, яка залежить від низки

факторів, зокрема таких як [3]: похибка системи керування; теплові похибки; похибки, які викликані силою тяжіння; похибка приводів системи тощо.

Для того, щоб оцінити складність задачі забезпечення оптимальних показників точності позиціонування робота-маніпулятора варто розглянути основні фактори, які впливають на точність, охарактеризувавши за такими категоріями [4, 5]:

1) механічні фактори - відноситься жорсткість конструкції, наявність зазорів та люфтів, зношення компонентів з часом експлуатації, а також складність конструкції робота, яка ускладнює процес контролю рухів;

2) електронні фактори - точність використаних сенсорів та виконавчих елементів, наявність електромагнітних перешкод та шумів, затримки у процесі управління та вимірюваннях;

3) програмні фактори - використані підходи для побудови алгоритму та рівень їх оптимізації, точність калібрування тощо;

4) динамічні фактори - швидкість руху або її зміна, вплив вібрацій, непередбачуваних контактів, значні зміни температури;

5) операційні фактори - навантаження та розподіл вантажу, перевищення значень допустимих навантажень, невідповідність умовам робочого середовища;

6) наявність систем компенсації та їх точність - наявність систем зворотного зв'язку, наявність додаткових сенсорів у системах компенсації для корекції та їх точність.

Відповідно, підвищення точності означає зменшення різниці між заданим і фактичним значенням позиції. Виконання даного завдання досягається шляхом впровадження методів корекції позиціонування, вдосконалення алгоритмів управління тощо.

ОПИС КОНЦЕПЦІЇ ШНМ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КОРЕКЦІЇ

Структурна схема інтеграції системи ШНМ в автоматизовану систему керування роботом маніпулятором зображена на рис. 1.

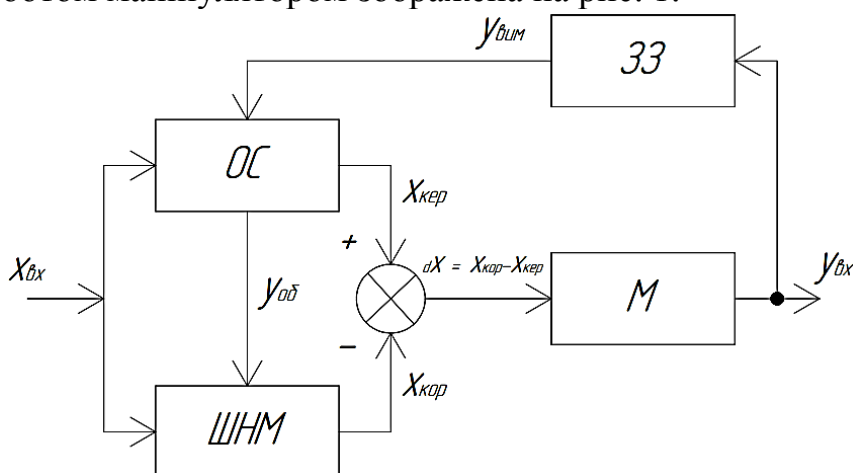


Рисунок 1. Структурна схема інтеграції системи ШНМ в автоматизовану систему керування роботом маніпулятором з корекцією позиціонування

Структура запропонованої системи містить у своєму складі наступні складові елементи:

1) блок обчислювальної системи (ОС) - виконує задачі керування, зчитування та оброблення даних, які отримуються з вимірювальної системи, формує сигнали

керування, тобто забезпечує функціонування усієї автоматизованої системи на основі програмного алгоритму;

2) блок штучної нейронної мережі (ШНМ) - виконує функції, що сприяють забезпеченню вищої точності позиціонування. На основі даних про роботу системи та її параметрів, виконує прогнозування та видачу значення для корекції відхилення;

3) блок маніпулятора (М) - робот-маніпулятор, який виконує рухи на основі сигналів керування від обчислювальної системи з урахуванням прогнозованої похибки;

4) блок зворотного зв'язку (ЗЗ) - виконує функцію вимірювання важливих параметрів роботи маніпулятора, зокрема значення фактичного положення, що є важливим для подальшої оцінки точності позиціонування та корекції похибки.

Згідно з наданою структурною схемою на вхід ОС подається значення заданої позиції робота - значення $x_{вх}$. На основі вхідного значення формується сигнал керування - відповідно $x_{кер}$. Далі сигнал надходить на блок суматора, який приймає на вхід два параметри - сигнал керування $x_{кер}$ та значення корекції $x_{кор}$. Значення корекції формує блок ШНМ на основі даних попереднього навчання, що дозволяє вираховувати поточну корекцію для конкретної системи маніпулятора та вдосконалюватися з часом. У результаті формується сигнал Δx , який описує сигнал керування з врахуванням прогнозованої похибки.

У результаті роботи маніпулятора отримується вихідне значення $u_{вих}$, яке характеризує фактичні положення з'єднань маніпулятора, враховуючи вплив зовнішніх факторів. Система ЗЗ зчитує параметри, такі як температура, струм, та формує вихідне вимірне значення $u_{вим}$. Варто зазначити, що значення $u_{вих}$ та $u_{вим}$ в ідеальних умовах мають бути однаковими, але враховуючи реальні умови вимірне значення може відрізнятися від фактичного внаслідок впливу похибок вимірювальної системи та інших факторів.

Значення $u_{вим}$ надходить на другий вхід ОС для подальшого оброблення. На основі цих даних формується вихідне значення $u_{об}$, яке представляє собою оброблені вимірні дані про роботу системи, які надходять на вхід блоку ШНМ для подальшого корегування.

Використання ШНМ відіграє важливу роль при розв'язанні задачі підвищення точності позиціонування роботів-маніпуляторів завдяки їх здатності адаптуватися до складних нелінійних залежностей й врахування впливу зовнішніх та внутрішніх факторів. На основі вхідних параметрів модель ШНМ здатна враховувати вплив різноманітних факторів, які можуть призводити до похибок у процесі позиціонування, та передбачати оптимальні корективи, які дозволяють мінімізувати цю похибку.

ШНМ може аналізувати великі обсяги даних, які були отримані у результаті попередніх процесі експлуатація робота-маніпулятора, що дозволяє в першу чергу враховувати особливості кожного конкретного маніпулятора на основі даних про нього і відповідно підлаштовувати роботу системи на забезпечення максимальної точності в умовах експлуатації.

Для навчання моделі ШНМ використано набір даних про параметри роботи колаборативного робота UR5e, що будуть використані для прогнозування значень корекції похибок позиціонування з'єднань робота. Розглянемо загальний графік розкиду фактичних похибок позиціонування, що продемонстрований на рис. 2.

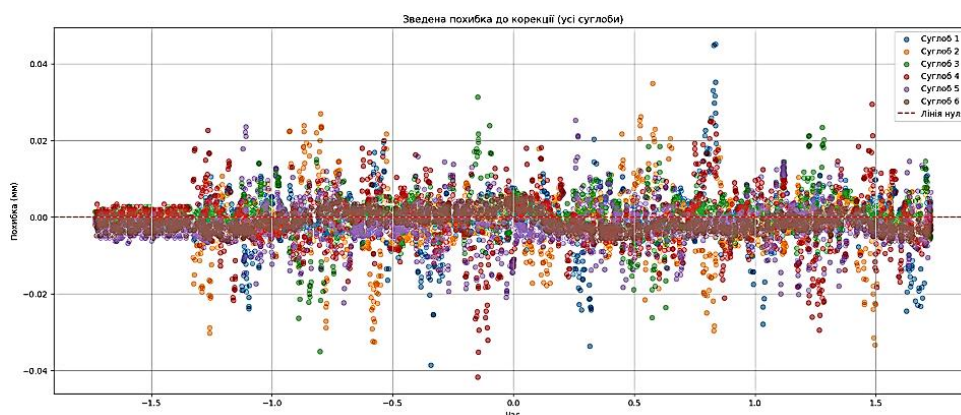


Рисунок 2. Графік фактичного розкиду похибок позиціонування

Точність позиціонування визначається, як різниця між заданим та фактичним положенням. Графік розкиду демонструє відносно низькі значення похибок, що демонструє високу якість виконання роботи UR5e. Але так як похибка не є нульовою, а має фактичний розкид ± 0.6 мм згідно з тестами в реальних умовах, тому точність позиціонування цього робота може бути покращена.

Для вирішення задачі підвищення точності позиціонування робота UR5e побудовано модель типу MLP (Multilayer Perceptron) із повнозв'язною архітектурою, що навчена передбачати похибки позиціонування на даних про роботу маніпулятора.

Дана модель має наступну архітектуру:

- вхідні дані: включають час роботи, цільові позиції з'єднань та фактичні значення струмів, крутні моменти, температурні показники та ін.;
- містить 4 прихованих шари з 256, 128, 64 та 32 нейронами відповідно. Використання функції активації ReLU дозволяє моделі виявляти та використовувати нелінійні взаємозв'язки між вхідними даними та помилками;
- вихідний шар містить 6 нейронів, де кожен нейрон відповідає за прогнозоване значення корекції похибки на відповідне з'єднання.

Процес навчання мережі має наступні особливості:

- як алгоритм оптимізації застосовано метод Adam Optimizer, який використовує адаптивний градієнтний спуск для автоматичної зміни швидкості навчання кожного параметра мережі на основі градієнтних моментів;
- у якості функції втрат використано mean_squared_error (MSE), тобто середньоквадратична похибка, яка визначає, наскільки близько передбачення знаходяться до фактичних похибок;
- на кожній ітерації навчання (епосі) модель налаштовує свої ваги, мінімізуючи показник MSE на основі даних тренувального набору;
- додано Early Stopping для зупинки процесу навчання, якщо якість моделі перестав покращуватися протягом 10 епох.

Після завершення навчання виконано порівняння показників точності на основі значення MSE, відповідно: загальна фактична похибка становить $3,826965802286804 \cdot 10^{-5}$; похибка з врахуванням прогнозованої корекції $2,6654067960520206 \cdot 10^{-5}$. Даний результат демонструє, що використання ШНМ дозволило зменшити загальну похибку позиціонування на 30,41%. Графік

розкиду похибок позиціонування після корекції продемонстровано на рис. 3.

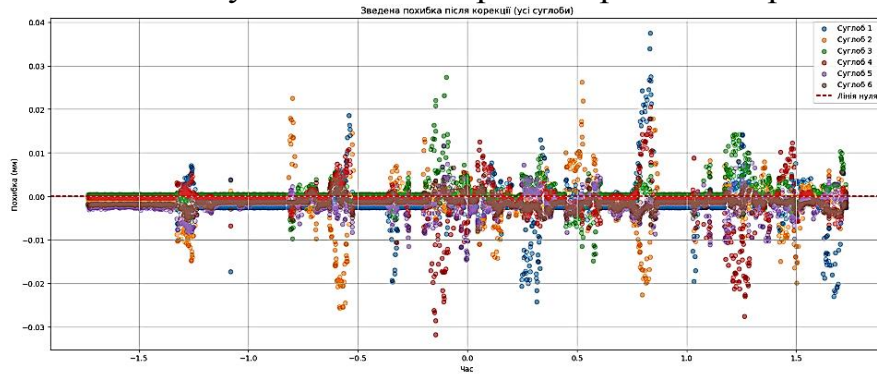


Рисунок 3. Графік розкиду похибок позиціонування після корекції

ВИСНОВКИ

Використання машинного навчання у задачах підвищення точності позиціонування дозволяє певною мірою зменшити похибки завдяки прогнозуванню корекційних відхилень. ШНМ ефективно враховує різні фактори роботи системи, здатна адаптуватися до специфіки конкретного маніпулятора та покращувати результати з часом роботи моделі. Використання такого підходу є перспективним рішенням для оптимізації роботи роботизованих систем у реальних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] A. Weiss, A.-K. Wortmeier, B. Kubicek. Cobots in Industry 4.0: A roadmap for future practice studies on human–robot collaboration. *IEEE Trans. Hum.-Mach. Syst.*, vol. 51, no. 4, pp. 335-345.
- [2] О. Соколова, С. Вислоух, В. Антонюк і Т. Клочко. Компенсація похибки позиціонування робота-маніпулятора в робочому просторі технологічного обладнання. *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, вип. 63(1), 2022. – С. 69–76.
- [3] Л. М. Березін. До параметричної надійності промислових роботів. Сучасні технології промислового комплексу - 2021 : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Херсон, 7-10 вересня 2021 року. – Вип. 7. – Херсон : ХНТУ, 2021. – С. 43-46.
- [4] Д. Р. Придятько, І. О. Яшков. Особливості застосування маніпуляторів для автоматизації виробничих процесів. *Форум «ТАК», ДонНТУ, Покровськ, 2021.* – С. 124-126.
- [5] С. В. Барабан, Р. С. Белзецький, І. Р. Арсенюк. Комп'ютерна інженерія та основи робототехніки: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] – *Вінниця: ВНТУ, 2024.* –155 с.

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

UDC 621.311

*Oleh Bukovskyi, postgraduate student gr. PB-z31f, PhD, Assoc. prof. Serhiy Vysloukh
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF ADAPTIVE ALGORITHMS IN ELECTRICAL CONNECTION CONTROL SYSTEMS

Abstract. This paper discusses the implementation of adaptive algorithms for controlling the parameters of interblock electrical connections. The importance of adaptive technologies in improving the accuracy and reliability of parameter control, which is critically important in the modern production environment, has been established. An assessment of the effectiveness of ADAM and Levenberg-Marquardt algorithms to increase the efficiency of responses to changes in production conditions is given. Studies show that the integration of these algorithms into systems Parameter control ensures the stability and high quality of products, reducing the risk of defects in electrical connections.

Keywords: Electrical systems, production process, interblock electrical connections, parameter control, performance, accuracy, reliability, efficiency, stability, testing, control methods, automated control system, adaptive algorithms, optimization.

INTRODUCTION

In today's manufacturing environment, ensuring the consistent quality of cable and wire products is critical, especially in the context of interblock electrical connections. The high density and complexity of joint designs require the introduction of advanced control methods that not only correspond to dynamic changes in operating conditions, but also ensure the accuracy of measurements.

Traditional methods of control are often insufficient, which leads to increased risks of defects. The chosen strategy of the adaptive approach to parameter control is based on the use of adaptive algorithms that demonstrate high efficiency in accordance with changing production conditions. Thus, the introduction of adaptive technologies opens up new opportunities for automating quality control and improving overall production efficiency.

PURPOSE OF THE WORK

The purpose of this work is to study the possibility of increasing the efficiency of monitoring the parameters of interblock electrical connections through the introduction of adaptive algorithms in automated control systems.

MATERIALS AND RESULTS OF THE STUDY

One of the main directions of implementation of adaptive algorithms in the direction of parameter control is the specification of the characteristics of controlled signals [1]. The use of such algorithms is aimed at increasing the productivity and accuracy of the parameter control process, which is critical in modern production conditions. Accordingly, production systems, especially those that work with cable and wire products, require reliable and efficient control methods to ensure high product quality and stability. In this context, it is important to consider the possibilities and advantages of using adaptive algorithms to improve the process of controlling the parameters of interblock electrical connections in modern production. To increase the accuracy and speed of control of the parameters of interblock connections, it is proposed to use adaptive algorithms, namely: Levenberg-Marquardt, Adaptive Moment Estimation, LMS and RLS.

The Levenberg-Marquardt (LM) algorithm is a powerful nonlinear optimization

method that combines the advantages of gradient descent and the Newtonian method [1]. Its main advantage is its resistance to the problems associated with non-inverted Hesse matrices, which often arise when working with nonlinear systems. This makes LM particularly suitable for problems where the exact model of the system is unknown or contains significant nonlinearities. The LM optimization process is described in the following sequence [1]:

- 1) The error gradient of the $J(p)$ model p parameters is determined

$$\nabla J(p) = \frac{\partial J(p)}{\partial p} \quad (1)$$

- 2) Adjusting Model Parameters

$$p_{k+1} = p_k - (H + \lambda I)^{-1} \nabla J(p), \quad (2)$$

where H is the Hesse matrix, λ is the regularization parameter; I – unit matrix;

- 3) Estimation of the new value of the error function $J(p_{k+1})$.
- 4) Adaptive adjustment of the error by changing the value λ depending on the need to decrease or increase the parameter p .
- 5) Repeat steps 1-4 until the specified accuracy is reached.

The application of the Leewenberg-Marquardt (LM) algorithm is an effective solution for optimizing the parameters of models used in electrical connection control systems. The LM algorithm demonstrates high speed and efficiency in adapting models to changing operating conditions, while providing resistance to noise and non-linear effects. Fast convergence and reliable solvability of optimization problems, inherent in the LM method, allow for effective adaptation of the parameters of the control system. The implementation of the LM algorithm leads to an increase in the efficiency of cable parameter control due to the optimization of the system operation and its adaptability to changing conditions.

The "ADAM" (Adaptive Moment Estimation) algorithm is an adaptive optimization method that takes into account both the gradient and its change [2]. Unlike fixed-rate learning methods, ADAM dynamically adjusts the learning rate for each parameter over time, which speeds up the convergence process [2]. This is especially useful when working with large datasets and complex models. It uses exponentially smoothed gradient and gradient square estimates to adapt parameter updates [2]:

$$m_{k+1} = \beta_1 m_k + (1 - \beta_1) \nabla J(w_k), \quad (3)$$

$$s_{k+1} = \beta_2 s_k + (1 - \beta_2) (\nabla J(w_k))^2, \quad (4)$$

$$m_{k+1} = \frac{m_{k+1}}{1 - \beta_1^{k+1}}, \quad (5)$$

$$s_{k+1} = \frac{s_{k+1}}{1 - \beta_2^{k+1}}, \quad (6)$$

$$w_{k+1} = w_k - \frac{\alpha}{\sqrt{\hat{s}_{k+1}} + \varepsilon} \cdot \hat{m}_{k+1}, \quad (7)$$

where w - is the vector of the model's weights; \hat{m}_k and \hat{s}_k – exponentially smoothed

estimates of the first and second moments of the gradient \hat{m}_k, \hat{s}_k ; β_1 and β_2 are the parameters of the first and second moments of the gradient; α – learning step, ε – stability parameter.

Adam's algorithm adaptively updates the parameters using information about the first and second moments of the gradient. This allows for efficient control of the learning rate and retention of gradient information. Adaptive adjustment of the learning rate for each parameter helps to accelerate the convergence of the learning process and prevent the phenomena of attenuation or sudden growth of gradients.

For effective parameter control, it is important not only to choose the optimal optimization algorithm, but also to ensure high quality of the input signal. For this purpose, adaptive filtering methods are used, namely the methods of recursive least squares (RLS) and least standard deviations (LMS) [3, 4]. The RLS filtering method provides faster convergence but requires more computing resources than the LMS method.

The RLS method minimizes the sum of the squares of the errors:

$$J(w) = \sum_{t=0}^{r-1} |e(t)|^2 \rightarrow \min, \quad (8)$$

where $e(t) = m - U^T w$ is the error on the t -th measure, $t = 0, 1, \dots, r-1$; r – the total number of samples (cycles) of the input signal used to calculate the coefficients; m – vector of desired values of the output signal; $U = [u(0), u(1), \dots, u(r-1)]$ – input data matrix (columns – input signal vectors at each cycle); w – vector of coefficients. The optimal solution for w is determined recursively, efficiently updating at each step without recalculation.

The optimal vector of coefficients w is defined as:

$$w = (UU^T)^{-1} Um, \quad (9)$$

Directly computing this expression at each step is computationally inefficient due to the growth of the matrix size U . However, the recursive approach can significantly reduce computational complexity, requiring at each step only the addition of a new column to U and a new element to m . This allows for fast and efficient adaptation to changing conditions, which is critical for accurate and stable parameter control.

An alternative is the method of least standard deviations (LMS) [4], which is also an effective method of adaptive filtering with high computational efficiency. Its goal is to find the optimal weight vector w that minimizes the RMS error between the desired output signal and the actual output signal.

Let $w(t)$ be the filter weight vector on the t -th cycle of the input signal, $u(t)$ let be the filter input vector on the t -th cycle (usually this is the input delay), and be the $m(t)$ desired output value on the t -th cycle. Then the filter output is defined as:

$$a(t) = u^T(t)w(t) \quad (10)$$

The error on the t -th measure is:

$$e(t) = m(t) - a(t) = m(t) - u^T(t)w(t) \quad (11)$$

The goal of an LMS is to minimize RMS error:

$$J(w) = E[e^2(t)] \rightarrow \min \quad (12)$$

where $E[e^2(t)]$ is the expected value operator. To achieve the minimum, the fastest descent method is used, resulting in the following iterative formula for updating the weights:

$$w(t+1) = w(t) + \mu e(t)u(t) \quad (13)$$

where μ is the learning step (a parameter that affects the speed and stability of convergence).

In the interconnect monitoring system, the LMS will be used to extract the useful signal from the noise generated by the measurement of insulation resistance. Despite its slower convergence compared to RLS, the LMS's low computational complexity makes it suitable for real-time systems where data processing speed is critical.

The use of adaptive algorithms LM, ADAM, LMS and RLS significantly improves the accuracy, speed and reliability of control of the parameters of interconnection of cable and wire products, ensuring high quality and stability of production processes. The choice of a specific algorithm depends on computing resources and accuracy requirements. Further research can be aimed at developing hybrid algorithms that combine the advantages of different methods. The results obtained make it possible to create a more reliable and efficient control system, which will lead to an increase in the quality and reliability of production processes.

CONCLUSIONS

As a result of the study, it is found that the introduction of adaptive algorithms in the systems for controlling the parameters of interblock electrical connections significantly increases the efficiency of production of cable and wire products. ADAM and Levenberg-Marquardt algorithms allow you to achieve high measurement accuracy and provide adaptation to changing operating conditions.

The use of adaptive control systems reduces the influence of the human factor, increasing the reliability of production and reducing the likelihood of product defects. The integration of such technologies into the software of automated control systems expands the possibilities of quality control, providing processes more resistant to external influences.

Further research in this direction is relevant, especially in the context of optimizing adaptive systems for different production conditions. This will not only improve the quality of products, but also increase competitiveness in the market, contributing to the introduction of innovations in production.

LIST OF REFERENCES

- [1] Bodyansky, E. V., Shafronenko, A. Yu., Klimova, I. M. Method of adaptive reliable fuzzy clustering of data based on the evolutionary algorithm. — 2021. — № 2 (68). — S. 80–83. <https://doi.org/10.30748/zhups.2021.68.10>.
- [2] Bukovskiy, O. M., Vysloukh, S. P. Systema avtomatyzovanoho kontroliu parametriv mizhblokovykh elektrychnykh ziednan // KhIKh Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsia studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh

"Efektyvnist ta avtomatyzatsiia inzhenernykh rishen u prylobuduvanni"; Kyiv, PBF, KPI im. Ihoria Sikorskoho. — 2023. — S. 89-92.

[3] King, M. S., & Iannello, C. J. Evaluation of Cable Harness Post-Installation Testing. NASA Technical Reports Server, 2011.

[4] Ng, F. M., Ritchie, J. M., Simmons, J. E. L., & Dewar, R. G. Designing cable harness assemblies in virtual environments // Journal of Materials Processing Technology. — 2000. — Vol. 107, No. 1-3. — P. 37-43.

*Scientific supervisor - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Vysloukh Serhiy*

УДК 621.577.6:697

Є.В. Васильченко, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Шевченко В.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ ПРИ СКЛАДАННІ ПРИЛАДІВ

Анотація. Розроблено систему керування на базі мікроконтролера, що забезпечує надійність, точність складання, а також зниження собівартості та підвищення продуктивності виробництва. Проведено моделювання роботи системи керування в пакеті Matlab Simulink, з застосуванням регулятора та контролера нечіткої логіки, що дало можливість створити надійну та точну систему керування. Аналіз результатів показав точну та надійну роботу системи керування з використанням контролера нечіткої логіки.

Ключові слова: мікроклімат, моделювання, контролер нечіткої логіки, керування, регулятор

ВСТУП

Відповідно до нових концепцій Industry 4.0 і CPPS, необхідно постійно контролювати багато виробничих параметрів, починаючи від поточних параметрів обладнання до параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях. Щоб скоротити витрати на переобладнання цілого виробничого приміщення, часто створюють системи моніторингу [1].

Мікроклімат виробничих приміщень – це сукупність фізичних параметрів, таких як температура, вологість, тиск, рух повітря та повітря. рівень забруднення, який контролюється та регулюється для забезпечення оптимальних умов виробництва та функціонування виробничого обладнання [2].

Мікроклімат є важливим елементом для забезпечення якості та ефективності виробництва, оскільки багато процесів можуть бути чутливими до змін цих параметрів. Наприклад, висока температура може вплинути на якість продукції, а вологість – на роботу обладнання чи зберігання сировини [3].

Розумне управління мікрокліматом у виробничому приміщенні повинно забезпечувати дотримання оптимальної температури та вологості. Проте забезпечення необхідних параметрів мікроклімату вимагає використання великої кількості енергоресурсів, як стають все дорожчими. Тому розроблення систем, які дозволяють більш ефективно використовувати ресурси для регулювання мікрокліматичних параметрів у приміщенні є актуальною задачею на сьогоднішній час [4, 5].

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Розроблено систему керування параметрами мікроклімату у виробничому приміщенні де проходить операція складання та випробування, моделюванню та налаштуванню регуляторів та контролера нечіткої логіки для забезпечення оптимальних умов виробничого середовища та економії енергоресурсів. Структурна схема системи керування мікрокліматичними параметрами виробничого приміщення приведена на рис. 1.

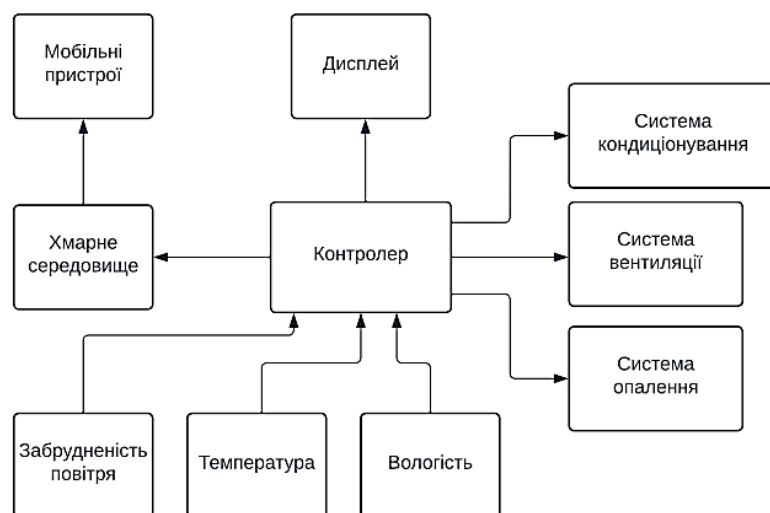


Рисунок 1. Структурна схема системи керування мікрокліматичними параметрами виробничого приміщення

Систему керування реалізовано на базі контролера ESP 32, який володіє необхідним функціоналом для забезпечення роботи та оптимальною вартістю і дозволяє реалізувати процес контролю. Контролер отримує дані з датчиків та на основі їх аналізу виробляє керуючий сигнал [6].

Для забезпечення більш ефективного керування ми пропонуємо використовувати контролер нечіткої логіки (Fuzzy logic controller), який на відміну від стандартних контролерів володіє більшою гнучкістю в керуванні. Це пов'язано з тим, що у класичних контролерах використовують булеву алгебру (значення 0 або 1), тобто більшість сигналів приводяться до уніфікованих форм (сигнал 0,1 або 0,2 буде приведено до логічного 0). Контролери нечіткої логіки не мають цих недоліків, тому програмне впровадження такого контролера на нашу думку забезпечить більш якісне керування, що забезпечить економію енергоресурсів.

Моделювання роботи системи на базі класичного регулятора та контролера нечіткої логіки проводили в програмному пакеті Matlab Simulink.

Система керування була розроблена в пакеті Simulink для двох варіантів: з використанням регулятора (рис. 2) та контролера нечіткої логіки (рис. 3). Для налаштувань параметрів регулятора використовували функцію Autotune.

В результаті моделювання система забезпечує регулювання температури всередині приміщення з коефіцієнтом перерегулювання 0,269% порівняно з 7,86% до налаштування та з часом встановлення 0,728 с порівняно з 0,793 до налаштування. Для моделювання втрат тепла створили модуль приміщення, в якому використано попередньо розраховані параметри теплопередачі. На рис. 4 представлені результати моделювання системи керування з використанням контролера нечіткої логіки.

В результаті моделювання системи з використанням контролера нечіткої логіки перерегулювання в системі немає і час виходу на встановлене значення 0,462 с, що є кращим показником порівняно з регулятором. Також перевагою використання контролера нечіткої логіки є те, що він обслуговує відразу кілька каналів, тоді як регулятор лише один.

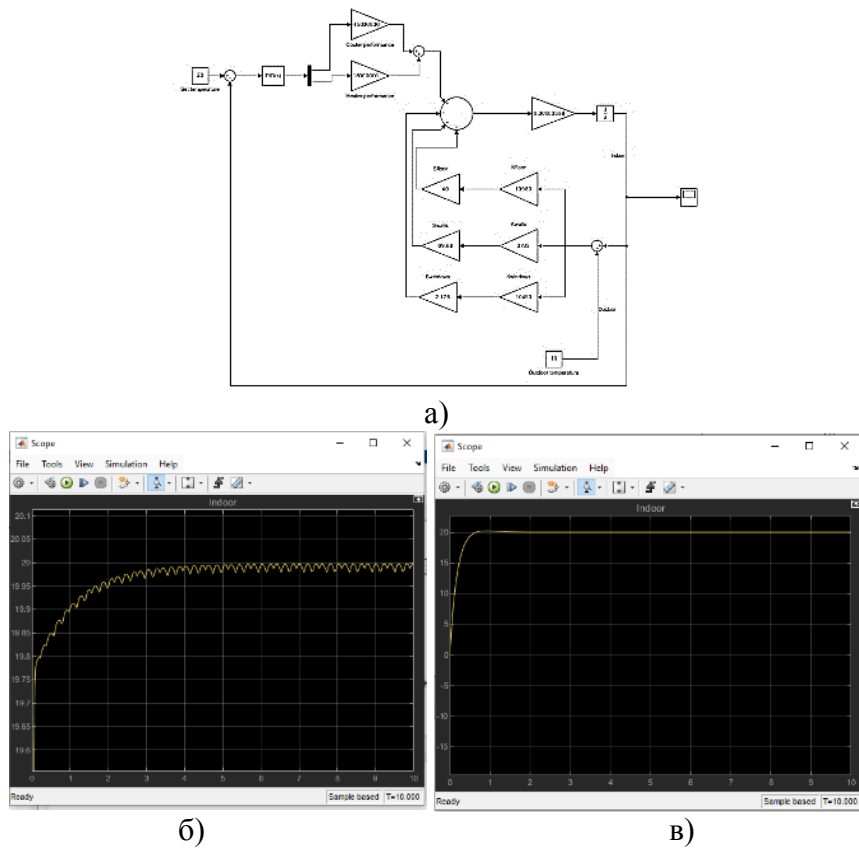


Рисунок 2. Моделювання роботи системи керування з використанням регулятора: а) схема моделі; б) форма вихідного сигналу до налаштування; в) форма вихідного сигналу після налаштування регулятора

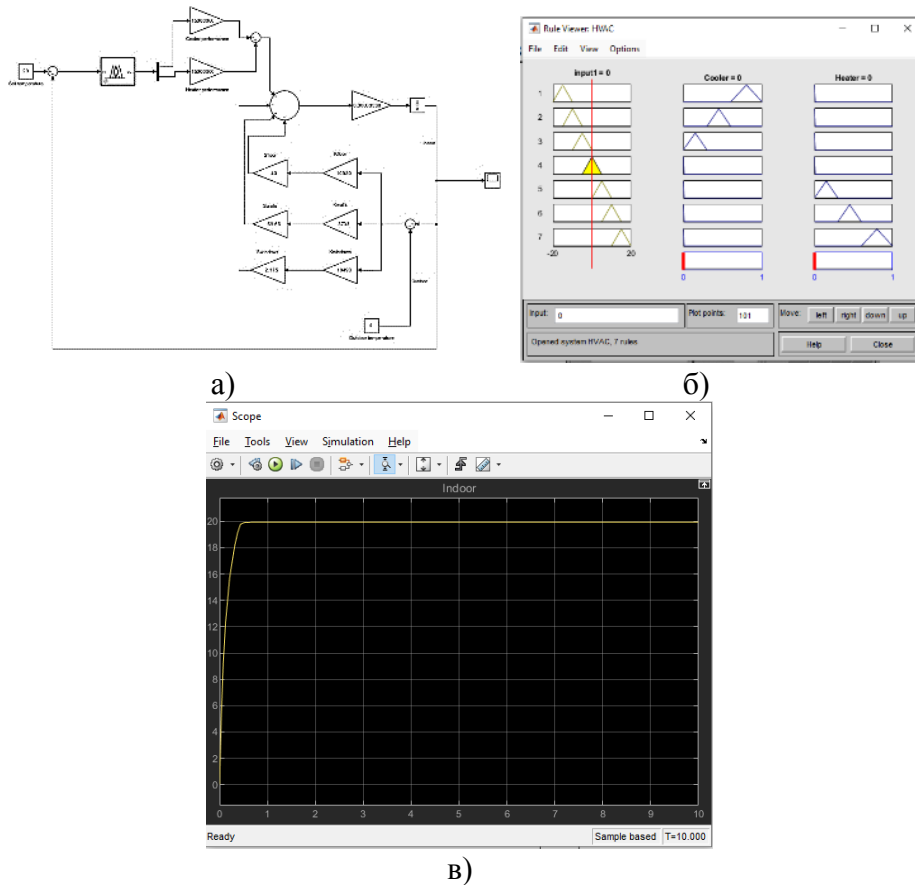


Рисунок 3. Моделювання роботи системи керування з використанням контролера нечіткої логіки: а) схема моделі; б) схема налаштованих правил; в) форма вихідного сигналу

ВИСНОВКИ

Розроблено систему керування на базі мікроконтролера, що забезпечує надійність, точність складання, а також зниження собівартості та підвищення продуктивності виробництва. Проведено моделювання роботи системи керування в пакеті Matlab Simulink, з застосуванням регулятора та контролера нечіткої логіки, що дало можливість створити надійну та точну систему керування. Аналіз результатів показав точну та надійну роботу системи керування з використанням контролера нечіткої логіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Shevchenko, V. (2024). Details Processing Control System at the Automated Manufacturing. 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. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44347-3_10.
- [2] Arup Bhattacharya, Mohammad Saleh Nikoopayan, Shervin Shoai-Naini, Fred Betz, Ehsan Mousavi. *A Systematic Literature Review of Cleanroom Ventilation and Air Distribution Systems. Aerosol Air Qual.* 2023. Volume 23. Issue 7. <https://doi.org/10.4209/aaqr.220407>.
- [3] Muhammad Rizwan, Shehbaz Ahmad, Syed Nasir Shah, Muzaffar Ali, Mansoor Hassan Shah, Muhammad Zaman, Humbul Suleman, Muddasar Habib, Rasikh Tariq, Jaroslaw Krzywanski. Optimizing the Air Conditioning Layouts of an Indoor Built Environment: Towards the Energy and Environmental Benefits of a Clean Room. *Buildings.* 2022. 12(12). P. 2158. Thongsri J., Tangsopa W. *A Dual Frequency Ultrasonic Cleaning Tank Developed by Transient Dynamic Analysis.* *Appl. Sci.* 2021. 11. P. 699. DOI: 10.3390/app11020699.
- [4] Senave M., Roels S., Reynders G., Verbeke S., Saelens D. Assessment of data analysis methods to identify the heat loss coefficient from on-board monitoring data // *Energy and Buildings.* – 2020. – Vol. 209. – 109706. – <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109706>.
- [5] Longhitano A., Costanzo V., Evola G., Nocera F. Microclimate Investigation in a Conference Room with Thermal Stratification: An Investigation of Different Air Conditioning Systems // *Energies.* – 2024. – Vol. 17. – Iss. 5. – P. 1188. – <https://doi.org/10.3390/en17051188>.
- [6] Васильченко Є. В., Шевченко В. В. Автоматизована система контролю та керування параметрів мікроклімату для виробничого приміщення. *Збірник праць XIX 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. С. 97-100.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шевченко В.В.

УДК 62.799

В.І. Гмиря, студент гр. ПІ-31мп, к.т.н., доц. Самарцев Ю.М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ВИРОБНИЦТВА ПЕТ ПЛЯШОК

Анотація. Представлено результати комплексного дослідження процесу нагріву ПЕТ преформ, розроблено математичну модель теплопередачі та створено автоматизовану систему керування температурним режимом для оптимізації виробництва ПЕТ пляшок. Запропоновано алгоритм автоматичного розрахунку параметрів нагріву з урахуванням фізичних властивостей матеріалу та геометричних характеристик преформ.

Ключові слова: поліетилентерефталат, ПЕТ преформа, температурний режим, математична модель, автоматизація виробництва, теплопровідність, алгоритм керування, оптимізація виробництва.

ВСТУП

Виробництво ПЕТ [1] тари є одним із найбільш динамічних секторів пакувальної індустрії, з щорічним глобальним обсягом виробництва понад 500 мільярдів одиниць продукції. У процесі виробництва ПЕТ пляшок критичним фактором є забезпечення оптимального температурного режиму нагріву преформ [2]. За даними досліджень, навіть незначні відхилення температури ($\pm 3-5^{\circ}\text{C}$) від оптимального режиму можуть призвести до появи дефектів, таких як нерівномірність стінок, помутніння матеріалу та механічна нестабільність готової продукції.

Статистика показує [3], що через неоптимальний температурний режим:

- Відсоток браку може досягати 8-12% від загального обсягу виробництва
- Енергетичні витрати збільшуються на 15-20%
- Продуктивність лінії знижується на 10-15%

Існуючі системи контролю температури часто базуються на емпіричних даних та вимагають постійного налаштування оператором, що призводить до людського фактору та нестабільності процесу. Тому розробка автоматизованої системи керування температурним режимом є актуальною науково-технічною задачею.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

З метою створення надійної системи контролю параметрів виробництва ПЕТ тари розроблено комплексну систему вимірювання температури в процесі збору даних та управління процесом.

Структурна схема системи вимірювання температури наведена на рис. 1.



Рисунок 1. Структурна схема системи вимірювання температури
НДТ – набір датчиків температури; МОВД – мікроконтролер обробки вхідних даних; МКО – мікросхема кодування та обробки; ПК – персональний комп'ютер.

Структурна схема такої системи складається з кількох основних компонентів: Набір датчиків температури (НДТ): датчики розташовані в

ключових точках для вимірювання температури, що дозволяє забезпечити контроль температурного поля відповідно до вимог технологічного процесу. Вони конвертують теплову енергію в електричні сигнали. Мікроконтролер обробки вхідних даних (МОВД): приймає електричні сигнали від датчиків і здійснює їх початкову обробку. Мікросхема кодування та обробки (МКО): отримує оброблені сигнали від МОВД, перетворює їх у цифрову форму (кодування) і проводить подальшу обробку для визначення точних значень температури. Персональний комп'ютер (ПК): використовується для відображення всієї актуальної інформації, отриманої від системи.

Ця структура забезпечує точне вимірювання та аналіз температури відповідно до вимог процесу.

Був проведений експеримент, ході якого досліджувалась преформа з наступними параметрами: висота 145 мм, зовнішній діаметр 28 мм, товщина стінки 2.7 мм. Матеріал преформи - ПЕТ марки YS-W01 [4]. Нагрів здійснювався чотирма інфрачервоними лампами потужністю 1000 Вт, розташованими на відстані 23 мм одна від одної. Відстань від ламп до преформи становила 10 мм.

Температурні вимірювання проводились протягом 3 хвилин з використанням системи датчиків, розташованих на внутрішній поверхні преформи. Було отримано значення температури для кожної з чотирьох зон нагріву, що дозволило побудувати детальну картину розподілу температурного поля на рис. 2.

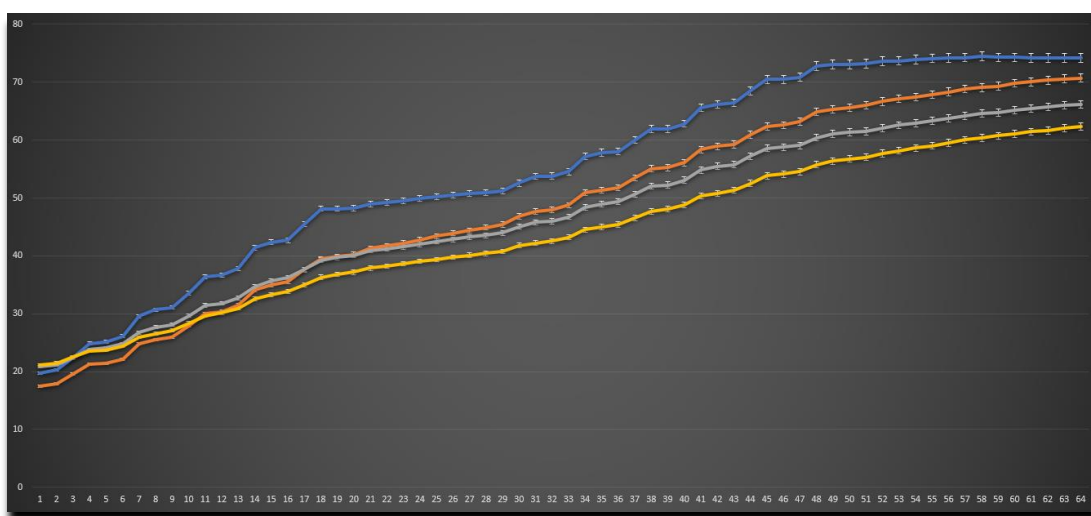


Рисунок 2. Діаграма показників температури з внутрішньої частини преформи

Експериментальна установка була реалізована як система, що складалася з наступних компонентів:

- Термістор NTC 3950 100 кОм для вимірювання температури
- Мікроконтролер Arduino Nano V3.0 ATmega328P для збору та обробки даних
- Джерело живлення: батареяка A23 12.0V
- Корпус системи, виготовлений методом 3D-друку з матеріалу PETG

Температурні вимірювання проводились протягом 3 хвилин з використанням системи датчиків, розташованих на внутрішній поверхні преформи. Було отримано 64 значення температури для кожної з чотирьох зон

нагріву (Рис. 2), які в свою чергу були записані у EEPROM Arduino Nano V3.0 ATmega328P, що дозволило побудувати детальну картину розподілу температурного поля.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

На основі експериментальних даних було розроблено математичну модель процесу теплопередачі:

$$R_{th} = \frac{d}{\lambda \cdot A} \quad (1)$$

де R_{th} - тепловий опір стінки преформи, d - товщина стінки, λ - теплопровідність ПЕТ, A - площа поверхні преформи

Теплоємність преформи розраховується за формулою:

$$C = m \cdot c \quad (2)$$

де m - маса преформи, c - питома теплоємність ПЕТ

На основі експериментальних даних та розрахунків було встановлено, що для досягнення рівномірного нагріву преформи необхідно забезпечити градієнт температур між зонами не більше 5-7°C. При цьому температура термопари повинна бути на 15-20°C вище бажаної температури стінки преформи.

На основі проведених досліджень розроблено алгоритм автоматичного розрахунку необхідного температурного режиму в печі для преформ різних розмірів. Алгоритм враховує:

- Геометричні параметри преформи
- Товщину стінки
- Час перебування в печі
- Потужність нагрівальних елементів

Розроблена математична модель дозволяє автоматично розраховувати необхідні параметри нагріву з урахуванням геометричних розмірів преформи та властивостей матеріалу. Експериментальна перевірка показала, що модель забезпечує точність розрахунків у межах $\pm 2^\circ\text{C}$.

Це дозволяє автоматизувати процес налаштування температурного режиму печі та забезпечити стабільну якість готових виробів. Система автоматично розраховує необхідні температури для кожної зони нагріву та відстежує їх дотримання в процесі роботи.

ВИСНОВОК

В статті представлений обґрунтований підхід який дозволяє автоматизувати процес налаштування температурного режиму печі та забезпечити стабільну якість готових виробів. Система зможе автоматично розрахувати необхідні температури для кожної зони нагріву та відстежує їх дотримання в процесі роботи.

Результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність запропонованого підходу та можливість його практичного застосування у

виробництві ПЕТ тари.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Thompson R.C., Moore C.J. et al. Our Plastic Age // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. - 2009. - С. 1973-1976.
- [2]Awaja F., Pavel D. Recycling of PET // *European Polymer Journal*. - 2005. - С. 1453-1477
- [3]Konkol J. The influence of process parameters on the properties of blow molded PET containers // *Journal of Applied Polymer Science*. - 2021. - Vol. 138, No. 5. - С. 449.
- [4]Technical Data Sheet: YS-W01 PET Resin for Bottles // *Yisheng Petrochemical Co., Ltd.* - 2020.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Самарцев Ю.М.

УДК 630.2

С.В. Грибан, студент гр. ПБ-31мн, ас. Заєць С.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ УГІДЬ

Анотація. Лісові угіддя є однією з основ екосистем нашої планети, їх вплив на екологію в цілому дуже важливий. В статті розглянуті фактори, які впливають на стан лісових угідь, яку шкоду вони завдають та як їх можна попередити для того, щоб зменшити вплив, або зовсім їх нівелювати. Також запропонована система моніторингу лісових угідь за допомогою якою можливе своєчасне виявлення шкідливих факторів, і засоби впливу на них.

Ключові слова: система автоматизованого моніторингу, лісові угіддя, фактори впливу, система попередження.

ВСТУП

Лісовий моніторинг є важливим інструментом для забезпечення сталого розвитку лісового господарства України. Він охоплює весь лісовий фонд країни, незалежно від форм власності, і спрямований на отримання точної та оперативної інформації про стан лісів. Основні аспекти цього процесу можна узагальнити так:

Мета лісового моніторингу:

- Забезпечення органів управління актуальною інформацією про стан і динаміку змін у лісовому фонді.
- Сприяння прийняттю обґрунтованих рішень для підтримання сталого розвитку лісового сектора.

Джерела даних для моніторингу:

- Державний облік лісового фонду.
- Лісовий кадастр.
- Базове лісовпорядкування.
- Результати лісогосподарської діяльності.
- Дані спеціальних обстежень і спостережень.

Методи та технології:

- Використання сучасних інформаційних технологій.
- Застосування новітніх методів збору, аналізу та передачі інформації.

Реалізація рішень:

- Отримані дані слугують основою для прогнозів та планування заходів, таких як лісо захист, відновлення лісів і раціональне їх використання.

Єдність інформаційної системи:

- Інтеграція з іншими інформаційними системами в лісовій галузі для створення ефективної мережі збору й аналізу інформації.

Цей процес є ключовим для збереження екосистеми, враховуючи як природні, так і техногенні чинники впливу. Підтримка сталого розвитку лісового господарства сприяє загальному розвитку суспільства та зміцненню екологічної стабільності.

Напрями лісового моніторингу

Поділ на окремі напрями обумовлений різними методами та деталізацією спостережень. Основні види моніторингу:

Лісо пожежний:

- Спостереження за виникненням і поширенням лісових пожеж.
- Виявлення причин займання та зон ризику.

Ресурсний (облік лісового фонду):

- Аналіз кількості та якості деревних ресурсів.
- Оцінка площі, віку та породного складу лісів.

Лісопатологічний:

- Оцінка санітарного стану лісів.
- Виявлення захворювань, шкідників і їх впливу.

Моніторинг лісогосподарської діяльності:

- Аналіз заходів лісовідновлення, догляду, вирубки.
- Оцінка ефективності діяльності лісогосподарських підприємств.

Основні складові системи показників

Лісовий моніторинг включає комплексну оцінку за такими напрямками:

Санітарний стан:

- Наявність хвороб і пошкоджень.

Лісопатологічна оцінка:

- Види та інтенсивність ураження лісів.

Ресурсна оцінка:

- Обсяг деревини, придатної для використання.

Економічна оцінка:

- Вартість лісових ресурсів, витрати на відновлення.

Екологічна оцінка:

- Вплив на біо різноманіття та еко системні послуги.

Інтеграція з екологічним моніторингом

Як підсистема екологічного моніторингу, лісовий моніторинг відображає:

Комплекс факторів впливу:

- Природні явища (погодні умови, зміни клімату).
- Техногенні впливи (вирубка, забруднення).

Зв'язок між факторами:

- Взаємозалежність природних і антропогенних чинників.

Призначення та функції моніторингу

На основі отриманих даних приймаються управлінські рішення щодо:

- Проведення заходів із захисту лісів (протидія шкідникам, відновлення після пожеж).
- Планування сталого використання ресурсів.
- Збереження екологічного балансу.

ОПИС РОБОТИ

Традиційний метод виявлення ландшафтних пожеж базується на використанні спеціалізованих пожежно-спостережних веж, де знаходяться спостерігачі та використовують засоби зв'язку та оптичного зору для виявлення пожеж та повідомлення про них у диспетчерський центр [1]. Переваги цього підходу включають інфраструктуру вежі, яка існує досі, простоту, масштабованість та ефективність. Однак такий підхід вимагає безперервного використання робочої сили в кожній точці розташування вежі та збільшує

зосереджене навантаження працівників лісового господарства, які здійснюють моніторинг території для протипожежного захисту та радіаційних вимірювань.

Системи моніторингу лісового господарства містять обладнання, необхідне для моніторингу висотних будівель (купольні поворотні камери, інфрачервоні камери, тепловізори), а також забезпечує ефективне виявлення лісових пожеж і дистанційний розрахунок координат осередку пожежі. Недоліком цієї системи є неможливість повністю охопити горизонт (360 градусів) однією панорамно-поворотною камерою (рис. 1.). Наявність «мертвих зон» змушує використовувати принаймні дві обертові камери на вежі для забезпечення виявлення джерел запалювання, що збільшує вартість системи. [2]

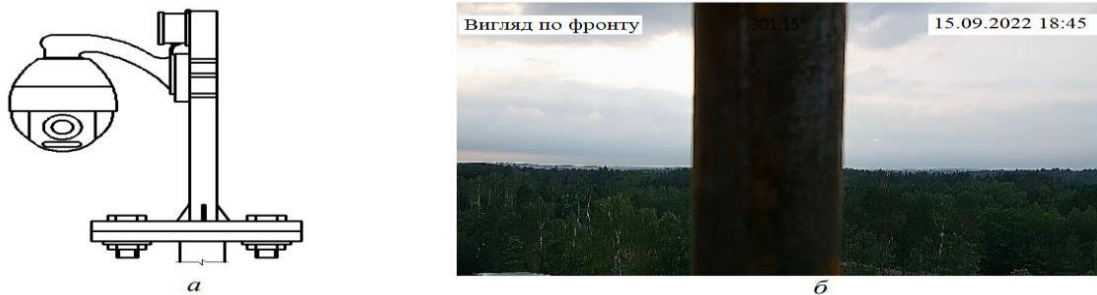


Рисунок 1. Встановлення купольної поворотної відеокамери: [3]
а – спосіб монтажу відеокамери на вертикальному кронштейні,
б – панорама лісового масиву з «мертвою зоною»

Недоліком також є те, що точку загоряння необхідно вручну вказувати на моніторі оператора, а потім система розраховує напрямок (азимут) місця пожежі. Крім того, ця система не забезпечує дистанційного радіаційного контролю та можливості передачі інформації про зміни параметрів радіаційного фону на пульт оператора.

Розглянута система відеоспостереження на основі IP-камери не має цих недоліків. Мережеві камери комплектуються спеціальними підставками і поворотними механізмами

Платформа з двома незалежними приводами - горизонтальним і вертикальним. Така конструкція забезпечує вільний поворот мережевої камери на 360 градусів у горизонтальній площині, що дозволяє контролювати умови лісової ділянки без «сліпих зон» (рис. 2).

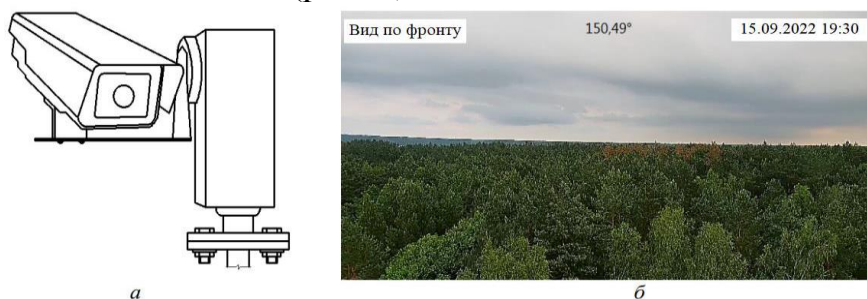


Рисунок 2. IP-камера на опорно-поворотній платформі з вертикальним кронштейном: [3]
а - спосіб монтажу відеокамери на опорно-поворотній платформі, б – панорама лісового масиву без «мертвої зони»

Для вирішення завдання автоматичного розрахунку координат напрямку вогню (кута азимута вогню) IP-камера оснащена спеціальним контролером, який дозволяє в режимі реального часу контролювати кут повороту IP-камери і

автоматично розраховувати вогонь. на 360-градусному огляді однотипної лісової ділянки малюнок Азимутальний кут (рис. 3) [3,4].

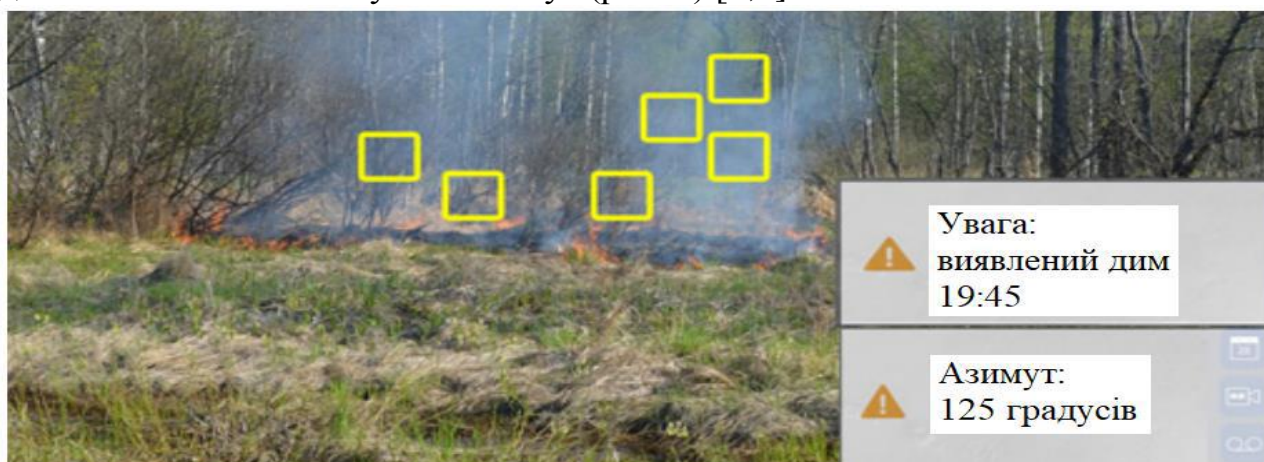


Рисунок 3. Приклад інтерфейсу програмного забезпечення і роботи спеціального контролера з автоматичним обчисленням азимута вогнища займання[3]

ВИСНОВКИ

Адаптація та вдосконалення таких систем моніторингу забезпечить пожежну та радіаційну безпеку в забруднених радіонуклідами лісах, раннє виявлення лісових пожеж на забруднених територіях, підвищить пожежну та біологічну стійкість лісів, зменшить добові навантаження на персонал лісового господарства. Для цього необхідно забезпечити дистанційний відео контроль та фіксацію зміни значень радіаційного фону на територіях, куди може потрапити забруднений радіонуклідами дим у разі виникнення лісової пожежі. атмосфера[2].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]С.В. Грибан, С.С. Заєць Система автоматизованого моніторингу лісових угідь// XVII Всеукраїнській науково-практичній конференції "Погляд у майбутнє приладобудування", що відбудеться у період з 14 по 15 травня 2024 р., м. Київ, Україна
- [2]Санаєв, В.Г., Степанов І.М., Запруднов В.І., Панферів В.І., Третьяков А.Г., Манович В.М. Міжгалузевий об'єднаний національний дослідницький центр "Технології аерокосмічного моніторингу лісу" - інноваційна форма інтеграції науки, виробництва та освіти з метою прискореного розвитку технологій аерокосмічного моніторингу лісу // Вісник МДУЛ - лісовий вісник. - 2013. - № 2 (94).
- [3]Левченко В.Б., Шульга І.В., Романюк А.А., Немерицька Л. В., Вишневський А. В., Котков В.І. Лісопатологія з основами моніторингу. Підручник / За ред. кандидата с.-г. наук, доцента В. Б. Левченко: – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка.
- [4]Я-М.О. Гупаловський, Автоматизована система екологічного моніторингу лісових господарств /Магістерська робота/ Західноукраїнський національний університет, кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем Тернопіль 2022.

Наук. керівник – ас., Заєць С.С.

УДК 687.02

*С.А. Дмитренко¹, студент гр. ПБ-31мн, к.т.н., доц. Барандич К.С.¹,
Кравченко І. М.²*

¹КПІ ім. Ігоря Сікорського, ²ДП “КІЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ”

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НА СКЛАДІ. МЕТОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ, АЛГОРИТМИ

Анотація: Окреслено важливість ефективного функціонування складу та представлено різні методи оптимізації його роботи. Розглядаються традиційні методи класифікації деталей, сучасні технології (WMS, AS/RS, RFID, штрих-коди, IoT), а також алгоритми для вирішення проблеми планування розташування об'єктів (FLP).

Ключові слова: склад, оптимізація, розміщення деталей, генетичні алгоритми, виробництво, управління складом, автоматизація.

ВСТУП

У сучасних умовах глобальної конкуренції та стрімкого розвитку технологій виробничі підприємства постійно стикаються з необхідністю підвищення ефективності своїх процесів. Одним із ключових аспектів успішного функціонування підприємства є оптимізація складської логістики. Ефективне управління складом дозволяє знизити витрати, підвищити продуктивність праці та забезпечити своєчасне постачання деталей до виробництва. Оптимальне розміщення деталей на складі відіграє важливу роль у цьому процесі, впливаючи на швидкість оброблення замовлень, час пошуку та переміщення деталей, а також на загальну ефективність виробничого процесу. У цій роботі розглянуто методи та практики оптимізації розміщення деталей на складі, включаючи сучасні технології та алгоритми, які допомагають підприємствам підвищити свою конкурентоспроможність. Метою даної роботи є аналіз способів підвищення ефективності виробництва за допомогою оптимального розміщення деталей на складі.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Склад відіграє ключову роль у забезпеченні безперебійної роботи виробничого підприємства. Він є не просто місцем для зберігання матеріалів, а важливою ланкою логістичного ланцюга, що відповідає за приймання, облік, зберігання та своєчасне постачання деталей та компонентів на виробничі ділянки. Ефективне функціонування складу безпосередньо впливає на продуктивність підприємства, дозволяючи уникнути затримок у виробництві та оптимізувати витрати на зберігання та логістику.

Для оптимізації розміщення деталей на складі використовуються різноманітні методи. Традиційні методи, такі як ABC-аналіз та XYZ-аналіз, дозволяють класифікувати деталі за їх цінністю, частотою використання та передбачуваністю попиту. Це допомагає визначити оптимальне місце для зберігання кожної деталі, мінімізуючи час на пошук та переміщення. Методика Just-In-Time (JIT) спрямована на мінімізацію запасів шляхом постачання деталей "точно вчасно" для їх використання у виробництві.

Сучасні технології пропонують розширені можливості для оптимізації складу. Системи управління складом (WMS) автоматизують ключові процеси, від розміщення деталей та відстеження їх руху до планування запасів.

Автоматизовані системи зберігання та вилучення (AS/RS) використовують роботів для швидкого та ефективного зберігання та видачі деталей, збільшуючи продуктивність та зменшуючи трудові витрати. Технології автоматичної ідентифікації (штрих-коди, RFID) забезпечують точний облік та оперативне відстеження деталей. Інтернет речей (IoT) дозволяє збирати дані з датчиків у режимі реального часу, що сприяє моніторингу умов зберігання, контролю руху деталей та проведенню глибокої аналітики.

Проблема планування розташування об'єктів (FLP) полягає у визначенні оптимального розташування об'єктів для досягнення максимальної ефективності, наприклад, мінімізації витрат на переміщення чи покращення продуктивності. Один з перших методів вирішення FLP - Systematic Layout Planning (SLP) - базується на аналізі зв'язків між зонами, але має обмеження у точному визначенні їх розташування.

Для вирішення цієї проблеми використовують оптимізаційні алгоритми, такі як генетичні алгоритми (GA), метод рою часток (PSO) та алгоритм імітації відпалу.

Генетичний алгоритм імітує природний відбір, де кожне рішення - це "хромосома", що еволюціонує через відбір, схрещування та мутацію. Він ефективний для складних задач з великою кількістю можливих рішень, але має високу обчислювальну складність.

Метод рою часток натхненний колективною поведінкою зграй, де кожна "частинка" - потенційне рішення. Частинки рухаються у просторі рішень, орієнтуючись на найкращі знайдені рішення. PSO простий та ефективний, але може застрягати в локальних оптимумах.

Алгоритм імітації відпалу імітує фізичний процес відпалу, де "температура" визначає ймовірність прийняття гірших рішень. Він дозволяє знаходити рішення високої якості, але залежить від правильного налаштування параметрів.

Сучасні технології автоматичної ідентифікації, такі як RFID та штрих-коди, відіграють ключову роль в оптимізації розміщення деталей на складі.

RFID – це бездротова технологія, що дозволяє швидко та точно ідентифікувати об'єкти без прямої видимості. RFID мітки бувають пасивні (з обмеженим радіусом дії) та активні (з більшим радіусом дії). RFID система складається з мітки, зчитувача та антени. Вона знаходить застосування у багатьох галузях, але має обмеження, пов'язані з впливом металу, рідин та електромагнітних перешкод.

Штрих-код – це оптичний метод ідентифікації, що використовує послідовність смуг. Інформація зчитується сканером та декодується у цифрові дані. Штрих-коди бувають одновимірні та двовимірні (QR-коди). Вони прості та економічні, але вимагають прямої видимості та чутливі до пошкоджень.

RFID та штрих-коди доповнюють один одного в оптимізації складів. Штрих-коди підходять для простих задач, а RFID – для складних, що потребують високої швидкості обробки даних. Впровадження цих технологій дозволяє зменшити ручну працю, підвищити точність обліку та пришвидшити складські операції.

Окрім вибору оптимального алгоритму, важливу роль в ефективності

складу відіграє його архітектура. Для виробничого підприємства це означає логічне розташування зон приймання, зберігання, комплектації, виробництва та відвантаження, мінімізуючи переміщення матеріалів. Використання вертикального простору з високими стелажми збільшує місткість, а правильно підібрана ширина проходів забезпечує ефективне маневрування техніки. Розподіл на функціональні зони (сировина, комплектація, готова продукція) також оптимізує логістику. FIFO та LIFO застосовуються залежно від типу матеріалів, а різні системи зберігання (стелажі глибокого зберігання, консольні, мезоніни) дозволяють ефективно розміщувати різні види вантажів. Вантажно-розвантажувальні зони повинні бути зручними та безпечними, а чітке маркування сприяє швидкій навігації. Врахування специфіки зберігання різних матеріалів та гнучкість до змін у виробництві забезпечують ефективну роботу складу в довгостроковій перспективі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ryme Kabak, Thomas Koch, Elenka R. Dugundji, «An Optimization Approach to Minimize Material Movements in a Fully Automated Warehouse», *The 15th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT)*, 2024, DOI: 10.1016/j.procs.2024.06.054
- [2] Ni L. M., Liu Y., Lau Y. C., Patil A. P., «LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID Wireless Networks», 2017, p. 701-710
- [3] Daniel Delahaye, Supatcha Chaimatanan & Marcel Mongeau, «Simulated Annealing: From Basics to Applications», *International Series in Operations Research & Management Science*, 2020, ISBN 978-3-319-91086-4
- [4] Amine Drira, Henri Pierreval, Sonia Hajri-Gabouj, «Facility layout problems: A survey», *Annual Reviews in Control*, 2007, DOI: 10.1016/j.procs.2007.04.001
- [5] Карпенко О.О., Дергачова В.В., Ільченко Н.Б. Складська логістика: навчальний посібник, 2020, ISBN 978-966-289-413-4
- [6] Daniele Scrimieri, Nikolas Antzoulatos, Elkin Castro, Svetan M. Ratchev, «Automated Experience-Based Learning for Plug and Produce Assembly Systems», *IFAC-PapersOnLine*, 2015, DOI: 10.1016/j.procs.2015.06.396

Наук. керівник – к.т.н., доц. Барандич К.С.

УДК 681.5 : 621.7 : 62-4

Я. Б. Жук, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Клочко Т. Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ПОСТОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ, УТВОРЕНИХ 3D-ДРУКОМ

Анотація. В роботі розглянуто процес постобробки деталей, утворених 3D-друком. Описано автоматизовану систему, наведено схему та технологічний процес роботи системи. Докладно проведено аналіз модуля швидкого вимірювання розмірів. Проведено експеримент, на основі якого розроблено модель роботи модуля. Проведено розробку програмного та апаратного забезпечення модуля.

Ключові слова: 3D-друк, FDM, автоматизація, постобробка, адитивне виробництво.

ВСТУП

3D-друк — це потужна технологія, яка дозволяє створювати нестандартні та складні об'єкти на вимогу. Але це також може бути тривалим, дорогим і трудомістким, особливо для великомасштабного або великого виробництва. Ось чому багато компаній, які займаються 3D-друком, шукають способи автоматизувати та оптимізувати свої робочі процеси, від проектування до постобробки [1].

Що стосується процесів постобробки деталей, то через стрімкий розвиток процесів самого 3D-друку, в найближчому майбутньому можна очікувати багато тенденцій і досягнень у цій галузі, що прокладатимуть шлях для більш ефективних, автоматизованих і передових методів, які зможуть ще більше покращити механічні властивості, якість поверхні та функціональні характеристики друкованих частин [2]. Але проблемна ситуація полягає в тому, що ручна постобробка деталей після 3D-друку часто є надзвичайно повільною та трудомісткою. В залежності від розміру та форми деталі може знадобитися від кількох хвилин до цілого дня щоб завершити очищення, згладжування та підготовку особливо великих або складних компонентів. Як наслідок, виробництво друкованих деталей стає менш рентабельним, що може зменшити або навіть звести нанівець економію коштів через відсутність спеціального обладнання [3, 4].

На сьогоднішній день, практично не ведуться наукові дослідження по автоматизації процесу 3D-друку загалом, тим паче – про автоматизацію процесу постобробки друкованої деталі. Спираючись на існуючі наукові дослідження та наукові та науково-популярні статті, які охоплюють проблеми постобробки у процесах 3D-друку, тема створення автоматизованої системи є актуальною.

ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Головною метою цієї роботи є дослідження автоматизованої системи керування процесами постобробки деталей, виконаних 3D-друком, та розробка і відлагодження одного із модулів розглянутої системи. Для досягнення даної мети були поставлені наступні завдання: 1) Розробити схему та технологічний процес роботи автоматизованої системи; 2) Проаналізувати можливість автоматизації визначення габаритних та основних розмірів деталі та проведення аналізу форми; 3) Спроектувати автоматизований модуль швидкісного вимірювання розмірів (далі – ШВР) для підвищення швидкості та точності обмірів поверхонь деталі; 4) Розробити керуюче програмне забезпечення модуля ШВР.

Предметом дослідження являються розміри та форма основних поверхонь

деталі, щойно знятої з робочої поверхні принтера, а в якості методу дослідження виступатиме розроблений модуль ШВР та його програмне забезпечення, написане мовою Python, з використанням бібліотек для роботи із зображеннями (OpenCV).

АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

Перед розробкою системи необхідно визначити чітку послідовність дій процесу постобробки, від якої залежатиме кількість модулів, дія, яку вони виконуватимуть, порядок виконання дій, переходи між модулями, вплив людини-оператора та обладнання. В результаті огляду проблем процесу постобробки, було виділено чотири основних модуля:

1. Модуль очищення підтримок;
2. Модуль ШВР;
3. Модуль згладжування поверхонь;
4. Модуль нанесення покриття.

Проаналізувавши принципи роботи цих модулів, було розроблено схему та технологічний процес роботи автоматизованої системи. Вони виглядатимуть наступним чином (рис. 1 – 2):

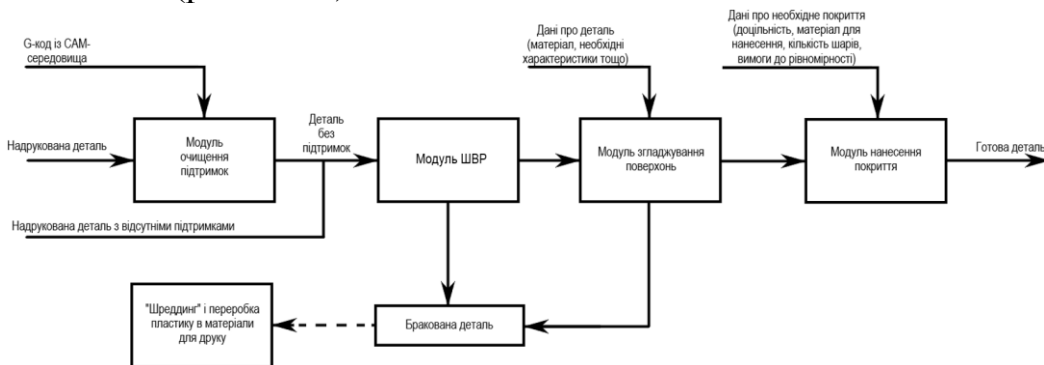


Рисунок 1. Схема роботи автоматизованої системи.

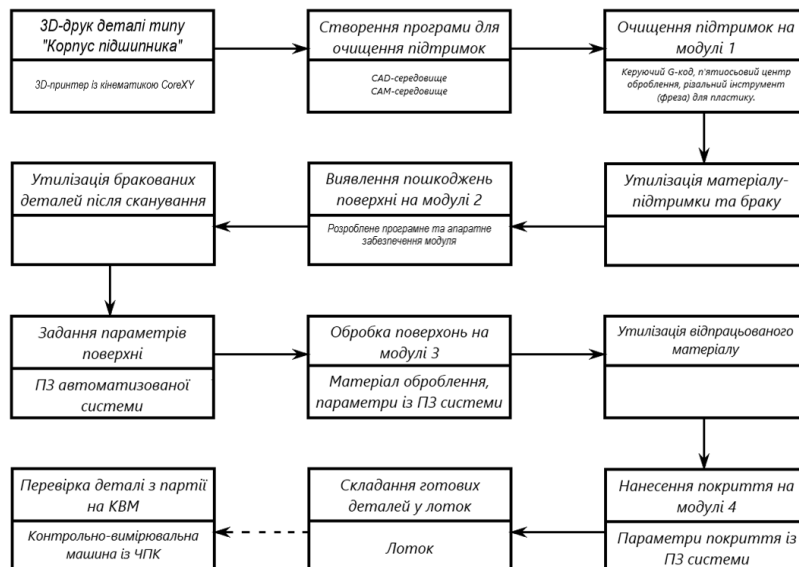


Рисунок 2. Технологічний процес роботи АС.

Після подачі в систему друкованої деталі система працюватиме наступним чином. Спершу, якщо деталь з підтримками, вона подається до першого модуля,

де виконується контурне оброблення різальним інструментом згідно G-коду, отриманому із САМ-середовища (SolidCAM, MasterCAM тощо) та видалення матеріалу-підтримки з метою отримання очищеної деталі. Після очищення, або у випадку відсутності підтримок, деталь подається до другого модуля. На цьому модулі відбувається швидкісне автоматизоване вимірювання габаритних розмірів, основних розмірів та відхилень від форми основних поверхонь деталі. Після отримання й обробки результатів вимірювання та передачі деталі у наступний модуль, із загальної системи беруться дані про стан, шорсткість критичних поверхонь, вхідні дані про матеріал деталі та габаритні і основні розміри. На основі цих даних, модуль виконує оброблення необхідних поверхонь абразивними та/або хімічними матеріалами. В кінці деталі передаються до модуля нанесення покриття, який, на основі попередньо заданих у керуюче ПЗ системи, виконує розпилення аерозолів на друковану деталь у попередньо визначений алгоритмом його роботи послідовності.

Економічна складова системи має передбачати можливість гнучкого переналадження. У випадку розгляду довільної системи із одним будь-яким модулем, доцільним буде обрати модуль ШВР, який і буде аналізовано далі.

АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА МОДУЛЯ ШВР

Після переходу деталі в другий модуль, будучи надрукованою без підтримок або уже із зрізаними підтримками, за допомогою модуля ШВР відбувається в автоматизованому режимі відбуваються вимірювання габаритних розмірів, основних розмірів похибок формотворення процесу 3D-друку. Цей модуль також має можливість відбракувати друковану деталь, оскільки або після 3D-друку деталі, або після попереднього модуля могли з'явитись розшарування чи інші пошкодження, які негативно вплинули на поверхню деталі. За відсутності браку, даний модуль подає в систему точні дані про необхідні розміри деталі, а також виконує перевірку входимості цих розмірів у поля допуску.

Для визначення принципу роботи модуля було проведено експеримент на спеціально підготовлених друкованих зразках, САД-модель яких наведена на рисунку 3.

За допомогою 3D-принтера з кінематикою CoreXY Creality K1C та програми-слайсера "Creality Print" було виконано 3D-друк зразків, світлина яких наведена на рисунку 4.

Деталі в програмному середовищі зорієнтовано таким

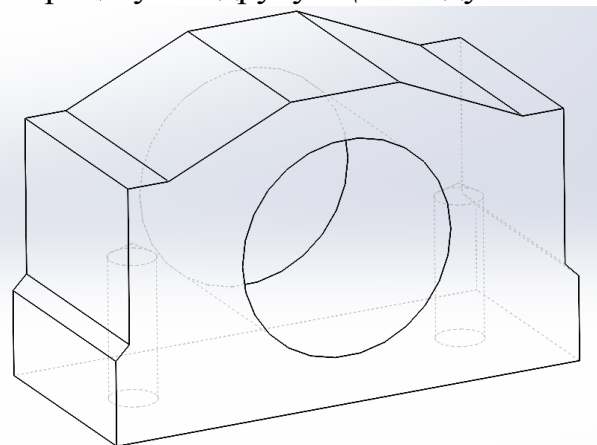


Рисунок 3. САД-модель тестового зразку деталі «Корпус підшипника».

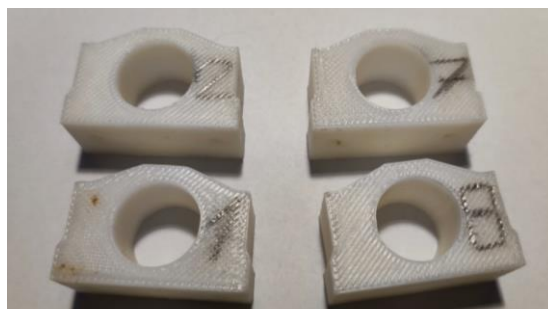


Рисунок 4. Надруковані тестові зразки.

чином, щоб мінімізувати відхилення від початкових розмірів головного отвору під підшипник та уникнути друку підтримок. Усього підготовано 8 різних програм для друку для оцінки залежностей вихідних результатів габаритних та основних розмірів від вхідних параметрів програми-слайсера. Друк зразків для дослідження виконувався за параметрами, наведеними у таблиці 1.

Таблиця 2.4. Параметри друку тестових деталей

Параметр “Wall Ordering”	<i>Матеріал – Hyper ABS, значення усадки, % - 0,9</i>							
	Outside to Inside				Inside to Outside			
Швидкість друку, мм/с	300		150		300		150	
Товщина шару, мм	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2

Температура друкарської головки, температура поверхні та температура навколишнього середовища залишались незмінними, та становили 260 °С, 60 °С та 60 °С відповідно.

Габаритні розміри та розмір отвору підшипника тестових зразків було виміряно за допомогою штангенциркуля МТ-1101060 з похибкою ± 0.02 мм та дискретністю 0.01 мм. Розміри було перевірено та валідовано на входимість у поля допуску, які задано стандартом EN 22768-1 f.

За результатами проведеного експерименту було обрано вхідні та вихідні даних було розроблено модель роботи модуля ШВР, яку наведено на рисунку 5.



Рисунок 5. Модель роботи

Оптимізація умов та режимів процесу 3D-друку залежить від незліченної кількості вхідних параметрів, основними з яких є швидкість виходу готової деталі з друку та відповідність деталі до характеристик її САД-моделі. Враховуючи загальну невизначеність у необхідних для кожної конкретної деталі показниках якості, вважатимемо, що для даного конкретного випадку ми намагатимемося максимізувати відповідність розмірів деталі, при цьому з найменшими витратами часу.

Після отримання готової моделі роботи модуля ШВР, фінальним етапом розробки є вибір методів та устаткування для розробки модуля, написання програмного коду для керуючого ПЗ та розробка апаратного устаткування. Як зазначалося, розробка програмного забезпечення була виконана за допомогою мови програмування Python та середовища розробки PyCharm 2024.3. В програмному коді застосовано бібліотеки NumPy, Matplotlib, OpenCV та time. Програма була написана з орієнтацією на використання разом із мікрокомп'ютером Raspberry Pi 5 та камерою Pi Camera Module 3, які увійшли в апаратне забезпечення модуля. Також, до апаратного забезпечення було додано крокові двигуни NEMA 17 17HS4401 та драйвери крокових двигунів M542H, програма контролю яких також була реалізована за допомогою Python для Raspberry Pi 5.

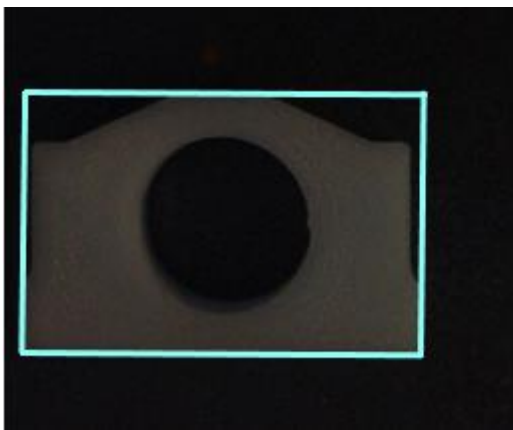


Рисунок 6. Світлина детекції тестового зразка в камері

Мета програмного забезпечення – виявити об’єкт, розміри якого необхідно визначити, за допомогою методів перетворення зображень бібліотеки OpenCV визначити контури та, знаючи відстань до об’єкта, розмір поверхні в пікселях та фокусну відстань камери визначити розміри поверхонь, що розглядаються. Також, програма перевіряє розміри на відповідність стандарту EN 22768-1 та пропонує варіанти вирішення проблеми із деталлю у разі виявлення невідповідностей. Світлина детекції деталі наведена на рисунку 6.

ВИСНОВОК

На сьогоднішній день практично не ведуться наукові дослідження по автоматизації процесу 3D-друку загалом, тим паче – про автоматизацію процесу постобробки друкованої деталі. Внаслідок цього, постало питання необхідності автоматизації цих процесів задля переведення ручного виготовлення друкованих деталей у малосерійне чи, навіть, у серійне.

Під час проведення дослідження бул отримано наступні результати:

- Проаналізовано наукові роботи та наукові і науково-популярні джерела на предмет автоматизації процесів постобробки 3D-друкованих деталей.
- На основі аналізу поставлено та вирішено завдання дослідження автоматизованої системи постобробки.
- Досліджено та розроблено модуль швидкого вимірювання розмірів, який є складником автоматизованої системи.
- Відлагоджено роботу модуля за допомогою тестових друкованих зразків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] LinkedIn, What are the most important 3D printing automation innovations. Стаття. URL: <https://www.linkedin.com/advice/0/what-most-important-3d-printing-automation-innovations#post-processing-automation>
- [2] SolidPrint3D, Post-Processing 3D Prints: Manual vs Automated Finishing. Стаття. URL: <https://www.solidprint3d.co.uk/post-processing-3d-prints-manual-automated/>
- [3] LinkedIn, Future Trends in Post-Processing Techniques for 3D Printing. Стаття. URL: https://www.linkedin.com/pulse/future-trends-post-processing-techniques-3d-printing-v13dprinting-m94fc?trk=article-ssr-frontend-pulse_more-articles_related-content-card
- [4] S. K. Papurelli, S. S. Desai, “A Comprehensive Review of Additive Manufacturing (3D Printing): Processes, Applications and Future Potential”, American Journal of Applied Sciences, 244-272, 2019.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Клочко Т. Р.

УДК 681.51: 004.032.26

І.В. Масненко, аспірант гр. ПБ-11ф, к.т.н., доц. Стельмах Н.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДУЛЬ ОПТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИРОБІВ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Анотація. В роботі представлено розробку модуля автоматизованого контролю якості виробів органічного походження, а саме очеретяних трубок для напоїв. Наведено загальний алгоритм технологічного процесу виготовлення виробу, спроектований модуль оптичного контролю, який включає блок переміщення, блок нейромережевого контролю та блок сортування. Запропонований комплексний підхід до автоматизації контролю якості виробів органічного походження дозволяє підвищити продуктивність виробництва значно скоротивши час вихідного контролю готової продукції.

Ключові слова: автоматизація, дефекти, контроль якості, очеретяні трубочки, машинний зір.

ВСТУП

Одним із головних завдань сучасного виробництва є забезпечення високої якості продукції та технологічного процесу. Коли говорять про забезпечення якості, часто мають на увазі відсутність поверхневих дефектів різного типу й походження, таких як тріщини, отвори, плями та сторонні включення, а також відповідність геометричних параметрів і кольору встановленим вимогам. Крім того, існують інші важливі критерії якості, включаючи відсутність внутрішніх дефектів та відповідність фізико-механічних характеристик заданим стандартам. Однак у рамках цього дослідження під забезпеченням якості продукції розумітиметься саме відсутність поверхневих дефектів і відповідність геометричних розмірів і стану поверхні виробу встановленим параметрам [1].

Один із підходів до забезпечення якості полягає у використанні безперервного візуального контролю, який здійснюється людьми. Однак цей метод на сьогодні не є оптимальним, оскільки люди не в змозі обробляти великі обсяги інформації та витримувати високі навантаження, пов'язані з аналізом візуальної інформації в автоматизованих виробництвах. Крім того, основним недоліком, який людина привносить у автоматизований процес, є суб'єктивність у прийнятті рішень.

АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ

Дослідження літературних джерел свідчать, що вибір структури системи комп'ютерного зору для контролю якості залежить від специфіки виробництва, умов її застосування, вимог до якості, геометричних характеристик виробів тощо. Тому не існує єдиної універсальної системи комп'ютерного зору. [2]

Прикладом вузькоспеціалізованого виробництва, яке потребує впровадження системи комп'ютерного зору, є виготовлення очеретяних трубочок (див. рис. 1), що використовуються для споживання напоїв. Система комп'ютерного зору повинна автоматизувати процес сортування виробів відповідно до встановлених критеріїв якості [3].



Рис. 1. Очеретяні трубочки

Для виробництва очеретяних трубочок використовується спеціалізоване обладнання з модульною структурою. Спочатку заготівки з очерету очищуються та відмиваються, далі проходять процес сушіння у спеціальних печах. Потім відбувається розрізання заготівок на відрізки заданих розмірів, після чого вони потрапляють на конвеєр, де завершується процес їх сортування. Сортування здійснюється за допомогою системи камер, що аналізують зображення з усіх площин об'єкта контролю [4,5]. Необхідність контролю та сортування трубочок на останньому етапі виробництва обумовлена тим, що вони можуть мати різні відтінки кольору, форми та розміри перерізу через їх органічне походження. Крім того, на виробках можуть бути як внутрішні, так і зовнішні дефекти, які можуть бути виправними або невивправними, і їх необхідно відбракувати.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Після сушіння трубки потрапляють до модуля оптичного контролю та сортування, автоматизоване керування якого відбувається за допомогою контуру (Рис. 2). Модуль оптичного контролю якості призначений для забезпечення належного стану продукції, що випускається, що аналізує рівень виконання попередніх етапів обробки та обладнаний системою камер, яка фіксує об'єкт контролю з усіх площин та використовуючи сервер обробки даних із ШІ виконує контроль якості виробів та сортування, згідно заданих показників. Блок переміщення дозовано подає трубки на зубчастий шків, де вони правильно орієнтуються для коректного зчитування фізичних параметрів камерами оптичного модуля [6,7]. Головними приладами даного модуля є 8 камер (поз. 4-1), зображення з яких аналізується нейронною мережею на наявність в трубках дефектів та інших геометричних параметрів. На основі отриманих даних подається сигнали керування на контролер керування блоку переміщення (поз. 4-5), контролер керування зубчастим шківом (поз. 4-6), контролер керування модулем сортування (поз. 4-6)

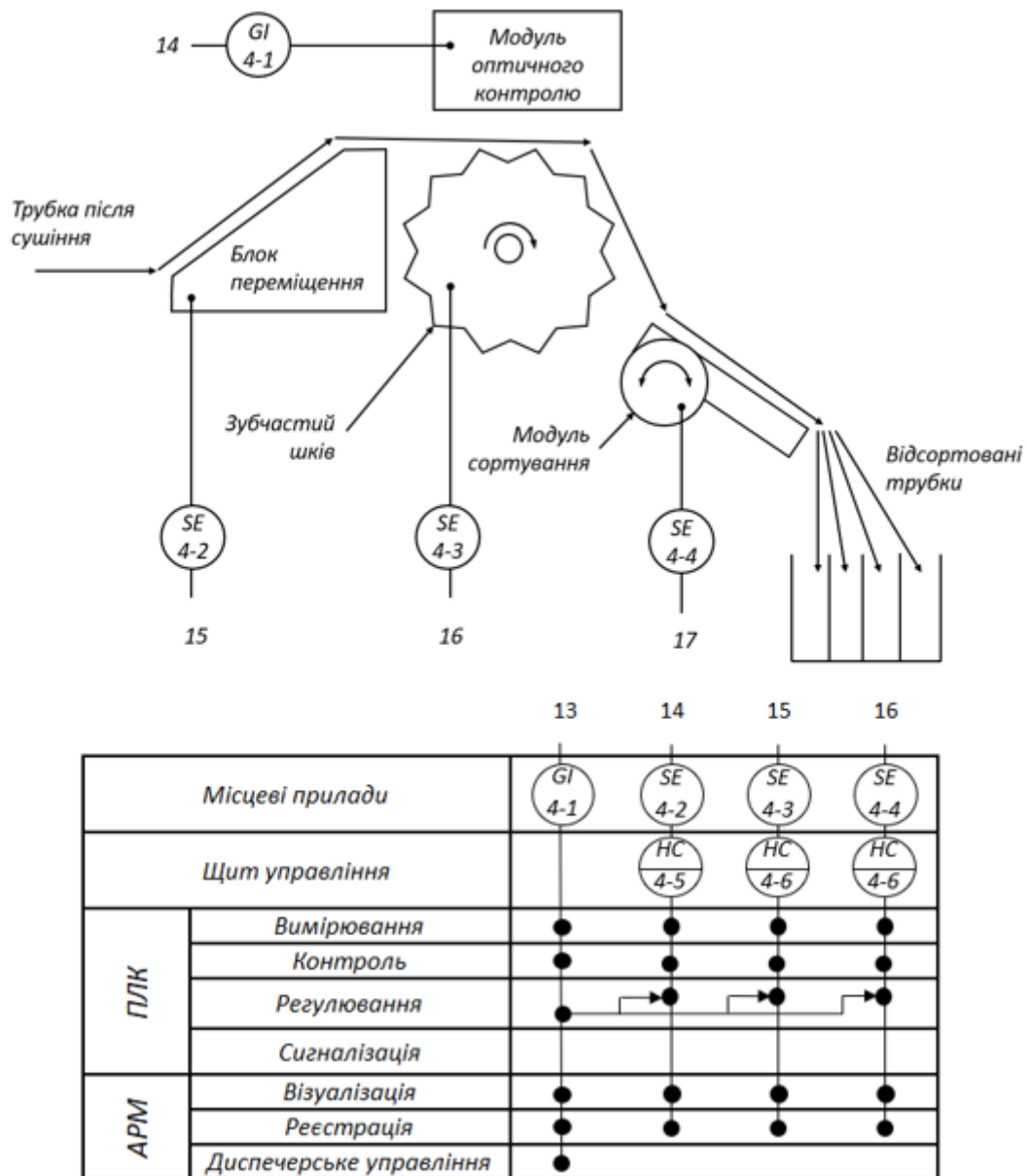


Рис.2 Контур оптичного контролю та сортування

ВИСНОВКИ

Процес виробництва очеретяних трубочок включає кілька важливих етапів, від очищення і сушіння заготовок до їх розрізання оптичного контролю засобами комп’ютерного зору та сортування. Завдяки використанню спеціалізованого обладнання з модульною структурою, автоматизація контролю якості та сортування відбувається за допомогою системи комп’ютерного зору, яка включає камери для зчитування зображень з усіх площин і сервер обробки даних з штучним інтелектом для аналізу якості. Наявність 8 камер забезпечує ефективний аналіз геометричних параметрів і виявлення дефектів у трубочках. Оперативне управління процесом сортування гарантує відповідність продукції заданим стандартам за допомогою спеціальних контролерів, які координують переміщення трубок і роботу модулів оцінки якості та фінального сортування. Таким чином, автоматизація контролю якості забезпечує високий рівень точності та ефективності на завершальному етапі виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ковалюк, Д. О., Ковалюк, О. О., & Малішевський, В. С. (2024). Реалізація систем контролю якості продукції на основі машинного зору та web-технологій. Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (1), 28–34. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2024.3009803>.
- [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, Pomiarы W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 2023. 13(1), pp. 38-41, DOI: 10.35784/iapgos.3434
- [3] Stelmakh N.V. Mastenko I.V. Classification and detection of defects in tubular products using machine vision. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 35 (74) № 2 2024. с. 167-172. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/23>*
- [4] Жученко А. І. Теорія автоматичного керування. Терміни, поняття, визначення: Довідник для студ. напряму «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / А. І. Жученко, Т. В. Аверіна. – К. : НТУУ «КПІ», 2006. – 52 с.
- [5] Ладанюк А.П. *Методи сучасної теорії управління: Підручник / А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, В.Д. Кишенько, Л.О. Власенко, В.В. Іващук. – К.: Видавництво Ліра-К, 2018. – 368 с. – ISBN 978–617–7605–36–*
- [6] *Робототехніка. Практикум. Частина 1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Комп’ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» КПІ ім. Ігоря Сікорського ; автори: С. М. Лісовець, С. В. Барилко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 78 с.*
- [7] *Інформаційні технології автоматичного керування. Лабораторний практикум. КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Н. М. Защепкіна, В. Г. Здоренко, С. В. Барилко, С. М. Лісовець. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 111 с.*

УДК 681.518.52:681.327.8

Д.С. Мирза, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Філіппова М.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РОБОТАМИ - МАНІПУЛЯТОРАМИ

Анотація. В роботі розглянуто можливості розроблення автоматизованої системи управління маніпуляційними роботами на основі математичної моделі робота та використання мобільного пристрою на платформі Android для дистанційного керування. Акцент зроблено на необхідності системного підходу до управління маніпуляційними механізмами в умовах реального часу, що є критично важливим для забезпечення точності та швидкості виконання завдань у різних сферах діяльності. Використання математичної моделі дозволяє здійснювати деталізований аналіз кінематики та динаміки маніпулятора, що забезпечує оптимальне керування рухами робота та підвищує гнучкість його взаємодії з навколишнім середовищем.

Ключові слова : маніпуляційна система, математична модель, рівняння Лагранжа, Bluetooth - контроль, додаток керування на базі Android, конструювання, моделювання.

ВСТУП

За останні 20 років роботи активно впроваджуються в різні сфери, від охорони здоров'я до виробництва [1], оскільки вони працюють енергоефективно, мінімізують брак і підвищують ефективність. Дослідження підтверджують доцільність їх використання [2].

Ключовим викликом у розробці систем управління є створення точних математичних моделей маніпуляційних роботів [3], які були б придатними для цифрової реалізації та забезпечували високу точність позиціонування. Зараз для зручності управління все частіше застосовуються мобільні пристрої на платформі Android, однак інтеграція таких пристроїв потребує вирішення питань зв'язку та обробки даних у реальному часі.

МЕТА РОБОТИ

Розробка автоматизованої системи управління маніпуляційними роботами з інтегрованою математичною моделлю для дистанційного керування через мобільний пристрій на платформі Android.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОТА МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Для забезпечення високої точності та швидкодії автоматичної системи керування маніпулятором робота необхідно створити його математичну модель. У рамках цього етапу запропоновано застосувати метод Денавіта-Хартенберга в комбінації з Лагранжевими рівняннями. Використання цих підходів дозволить отримати рівняння динаміки ланок маніпулятора, що дасть можливість детально дослідити його поведінку. Створена таким чином математична модель дозволить розробити ефективну систему керування та оптимізувати вибір параметрів для підвищення продуктивності та точності управління [4].

Типовим представником робота маніпулятора, в якому відтворюються всі види рухів людської руки, є чотирьохланковий робот, який представлений на рис. 1.а. Основними складовими частинами робота є: основа, плече, лікоть та захват. На рис. 1.б показано кінематичну схему даного робота, яка складається з чотирьох ланок a_1, a_2, a_3, a_4 .

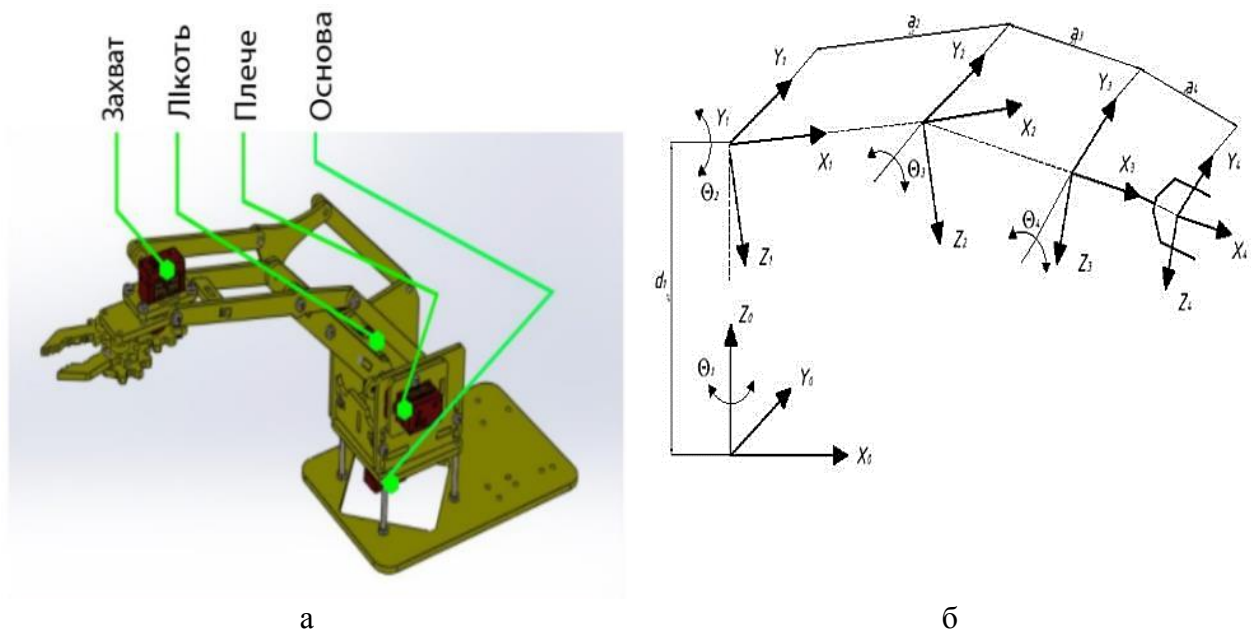


Рисунок 1. Чотирьохланковий робот
а) модель роботу; б) кінематична схема

З кінематичної схеми, наведеної на рис. 1.б визначаються основні параметри системи координат ланок. Де a_i – довжини ланок; α_i – кут між осями z_i та y_i навколо осі x_i ; θ_i – кут обертання навколо осі z_i ; d_i – відстань вздовж осі z_i .

Щоб скласти диференціальні рівняння руху маніпулятора, звернемося до рівнянь Лагранжа у векторно-матрицевій формі, записуючи його таким чином [5]:

$$\tau(t) = D(q(t)) \cdot \ddot{q}(t) + h(q(t), \dot{q}(t)) + C(q(t)), \quad (1)$$

де $\tau(t)$ – вектор узагальнених сил (моментів), які створюються силовими приводами в зчленуваннях маніпулятора; $q(t)$ – вектор приєднаних змінних; $\dot{q}(t)$ – вектор узагальнених швидкостей; $\ddot{q}(t)$ – вектор узагальнених прискорень; $D(q)$ – симетрична матриця розмірністю $n \times n$; $h(q, \dot{q})$ – вектор коріолісових і відцентрових сил; $C(q)$ – вектор гравітаційних сил (моментів).

Згідно з даним описом, векторно-матрицеве рівняння чотирьохланкового робота матиме вигляд:

$$\begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \\ \ddot{\theta}_3 \\ \ddot{\theta}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

де D_{ik} – коефіцієнти, які встановлюють зв'язок сил, моментів, що діють у зчленуваннях з прискореннями приєднаних змінних; h_i – коефіцієнти, які встановлюють зв'язок сил і моментів, що діють у зчленуваннях, із швидкостями зміни приєднаних змінних; C_i – коефіцієнти, які враховують силу тяжіння, що діє на кожну ланку.

Отримав елементи рівняння (2) і провів необхідні перетворення, отримаємо математичну модель динаміки чотирьохланкового маніпулятора, на основі якої можна синтезувати систему керування роботом.

АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА ЧАСТИНИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Реалізація системи керування для маніпуляційного робота складається з двох частин: апаратної та програмної. Апаратна частина включає всі фізичні механізми, а програмна частина — це закодована архітектура шарових комп'ютерних інструкцій, яка забезпечує обробку сигналів. Використані апаратні матеріали, визначені під час процесів проектування та моделювання, представлені на рисунку 2.

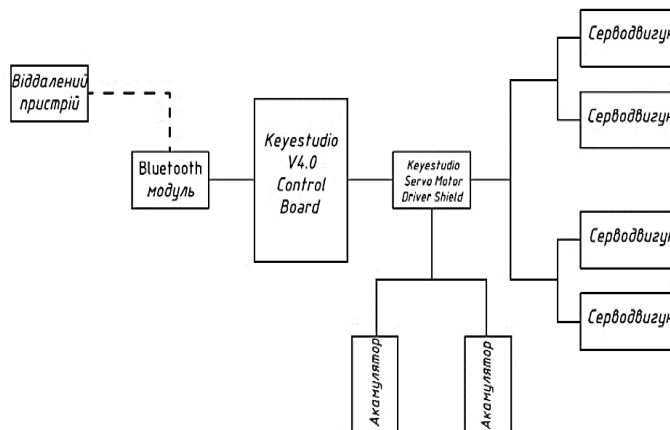


Рисунок 2. Структурна схема системи управління

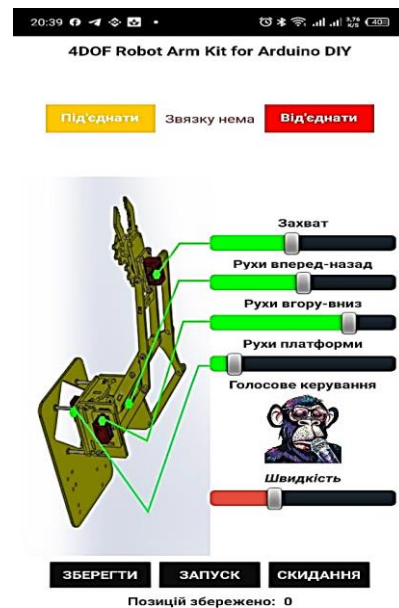


Рисунок 3. Інтерфейс програми для керування роботом – маніпулятором

Для реалізації керування створено додаток який систематизується на базі Android, допоможе зручно і ефективно інтегрувати у систему. Інтерфейс реалізованої програми керування зображений на рисунку 3.

Принцип роботи програми (рис. 4) наступний: користувач натискає "Під'єднати", вибирає пристрій (наприклад, модуль Bluetooth HC-05), після чого лунає сигнал. Кнопка "Від'єднати" завершує з'єднання і супроводжується голосовою командою. Ліворуч зображено руку робота, праворуч — 4 повзунки для керування сервоприводами: захват, рух вперед-назад, рух вгору-вниз і обертання платформи (всі з діапазоном 0°-180°). Є голосове керування, активоване натисканням на іконку з мавпою, та регулювання швидкості. У нижній частині — кнопки "ЗБЕРЕГТИ", "ЗАПУСК" і "СКИДАННЯ" для автоматичного запуску робота зі звуковими сигналами і підрахунком кроків. В результаті імітаційного експерименту було створено маніпулятор з 4 серводвигунами, керований через Android-пристрій по Bluetooth.

Алгоритм роботи системи зображений на рисунку 4.

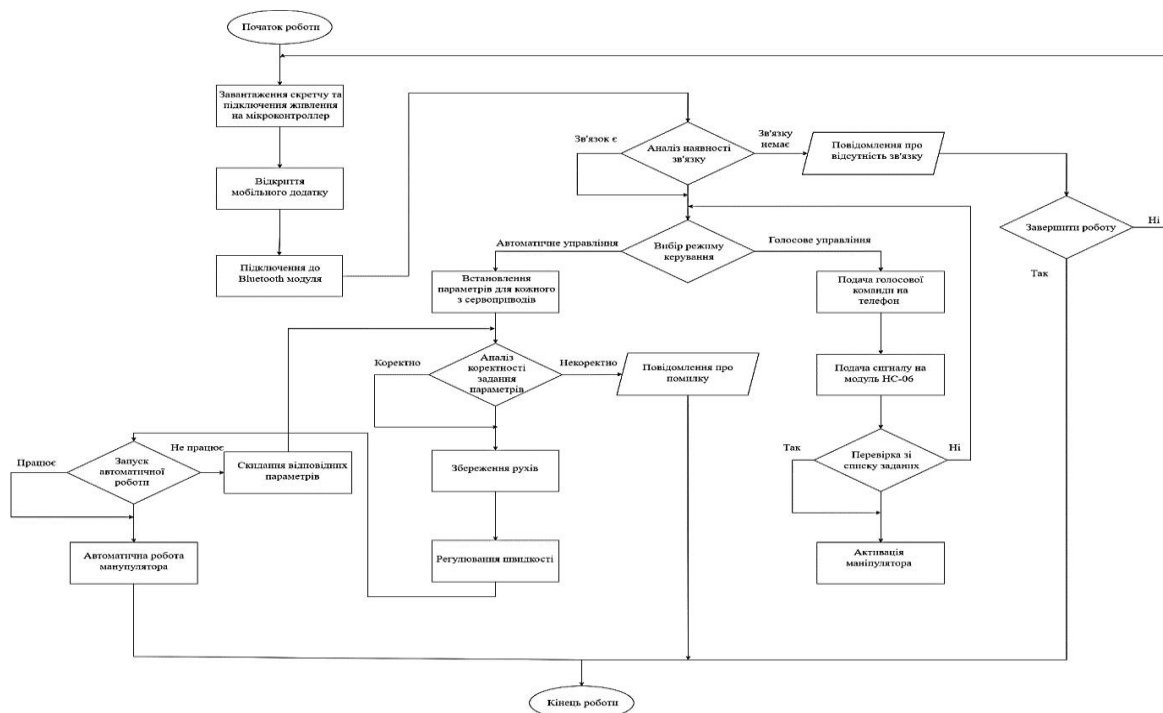


Рисунок 4. Блок-схема програми управління системою

ВИСНОВОК

Дослідження показало можливість розробки ефективної автоматизованої системи управління маніпуляторами на базі математичної моделі з дистанційним керуванням через Android-пристрій. Запропонований підхід забезпечує високу точність і швидкість у реальному часі, оптимізуючи кінематику і динаміку маніпулятора для підвищення адаптивності до середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] J. Brüning, B. Denkena, M. A. Dittrich, and H.-S. Park, «Simulation-based planning of machining processes with industrial robots», *Procedia Manufacturing*, vol. 6, pp. 17-24, 2016, doi: 10.1016/j.promfg.2016.11.003.
- [2] H. M. Ghaleb and A. A. Ali, 'Modelling and control of a 2-DOF robot arm,' *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology*, vol. 6, no. 11, pp. 24-31, 2018.
- [3] Голубєв Л.П., Вовк Д.М. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління роботом-маніпулятором [Електронний ресурс]. *Технології та дизайн*. – 2019. – № 3.
- [4] 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
- [5] Мирза Д. С., Філіппова М. В., Демченко М. О., Богдан Г. А. «Автоматизована система управління маніпуляційними роботами» Том 339 № 5-6 (2024): *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*
Наук. керівник – к.т.н., доц. Філіппова М.В.

УДК 681.5

А.В. Нестеренко, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Філіппова М.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Анотація. Проведено аналіз застосування систем діагностування для виявлення несправностей в системах керування технологічними процесами. Було проведено моделювання технологічного процесу роботи турбіни для виробництва електроенергії. В якості вхідних сигналів використовували функції лінійного висхідного сигналу. Як компоненти системи використано модулі компресора, турбіни, контролера та пальника. Отримані графіки перехідних процесів та функцій залишків для виявлення несправностей. Отримані результати виявлення несправностей на різних давачах є достатніми для промислових діагностичних застосувань, враховуючи також, що мінімальна кількість виявлених несправностей може бути зменшена, якщо застосувати додаткові алгоритми аналізу залишків.

Ключові слова: діагностування, моделювання, несправність, керування, перехідний процес.

ВСТУП

Проведення діагностики онлайн промислових технологічних процесів є ефективною процедурою для підвищення функціональної безпеки самого процесу та зменшення економічних втрат, спричинених збоями в роботі чи несправностями обладнання, що збільшує тривалість ремонтного простою. Раннє розпізнавання несправностей, що виникають, викликає потребу для операторів технологічних процесів вживати відповідних дій, які би могли дозволити відносно швидко та успішно проводити діагностування з метою попередження збоїв. Таким чином, блокування та заходи безпеки, передбачені та реалізовані в системах керування при правильному підході до діагностування фактично не будуть активовані, а отже, зупинка процесу не відбувається [1].

Таким чином, діагностичні процедури гарантують, серед іншого, значну економію при виконанні технологічного процесу. При цьому точне та якісне діагностування, дозволяє ізолювати несправності та застосовувати відповідні рішення та ремонтні дії. Точність діагностування можна визначити шляхом додавання кількості несправностей, виявлених у кожному елементарному блоці [2]. Чим менша кількість несправностей зібрано в елементарному блоці, тим точніша процедура діагностування. Точність залежить від ступеня розрізнення несправності, досягнутого в даній системі. Під розрізненням дефектів автори розуміють здатність розпізнавати (розрізняти) одиничні дефекти. Як правило, розпізнавання несправностей базується на аналізі відповідно оброблених результатів діагностичних тестів. Діагностичні тести виявляють набір характерних симптомів, пов'язаних із несправністю або набором несправностей. Вони можуть бути визначені або як патерн конкретних значень (симптомів) діагностичних сигналів, а також як певні послідовності (порядки) цих сигналів [2]. Зрозуміло, що недоліки неможливо розрізнити, якщо їх усі симптоми ідентичні. Тому розрізнення несправності залежить від вибору симптомів. Показники розрізнення несправностей є дуже потрібними при побудові систем діагностування. Вимоги до розрізнення несправностей можуть бути визначені, наприклад, шляхом вказування набору пар несправностей, які необхідно розрізняти. Як правило, оператори процесу вимагають розрізнення всіх окремих несправностей. Однак варто зазначити, що це не обов'язково. На практиці

достатньо розрізняти ті несправності, наслідки яких є особливо загрозливими. Іншою типовою вимогою є розрізнення несправностей, які можуть бути використані для запуску процедур страхування безпеки процесу. У цьому випадку несправності, до яких відносяться ці процедури, не потрібно розрізняти.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ

Врахування помилок часто передбачається в методологіях FDI (Fault Detection and Isolation), заснованих на аналітичних відношеннях надлишковості (Analytical Redundancy Relation, ARR) [3]. Відповідно до цього припущення, якщо деякі ARR задовольняються спостереженнями, то всі компоненти, пов'язані зі спостереженнями, вважаються невідмовними. У підходах DX (Digital Transformation) такого припущення не існує. Загальна структура системи діагностування приведена на рисунку 1.

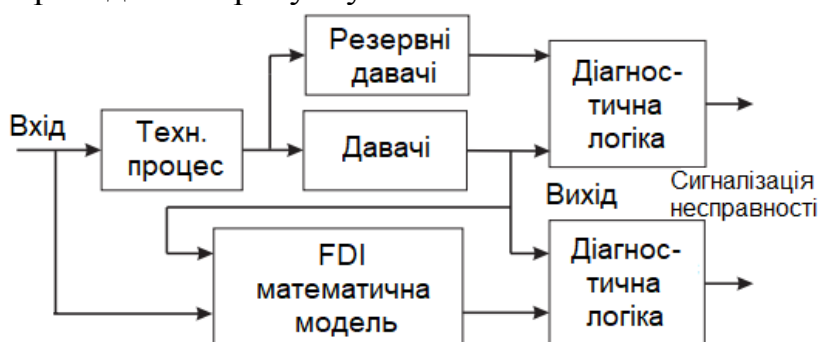


Рисунок 1. Загальна структура системи діагностування технологічного процесу

Для моделювання системи ідентифікації несправностей FDI створено модель системи парової турбіни для технологічного процесу генерації електроенергії потужність 120 МВт.

Система складається з двовальної промислової газової турбіни, що працює паралельно з електромережею.

Блок-схема системи показана на рисунку 2.

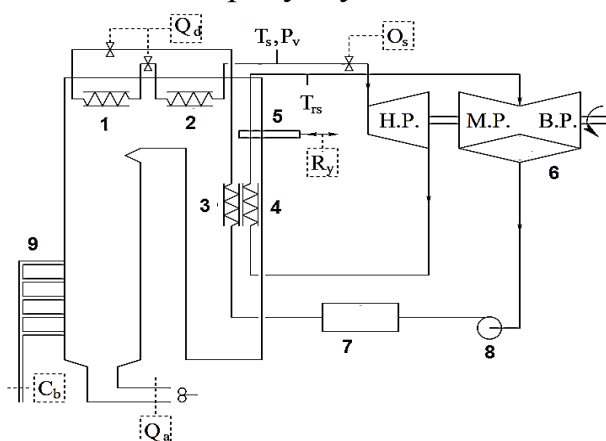


Рисунок 2. Структура системи енергогенерації: 1- нагрівач великої потужності (випромінювання); 2 - нагрівач великої потужності (конвекція); 3, 4 – теплообмінники; 5 – заслонки; 6 – конденсатор; 7 - барабан, 8 - водяний насос; 9 - пальник [4].

Усі методи FDI на основі моделі використовують модель моніторингової системи для створення генератора симптомів. Метод FDI на основі моделі

вимагає високоточного математичного опису системи, що контролюється. Чим краще модель представляє динамічну поведінку системи, тим кращою буде точність FDI. Якщо можна розробити такий метод, який нечутливий до невизначеності моделювання, точна модель не обов'язково потрібна.

Для симуляції системи застосували метод спостерігачів виходу, для FDI прототипу промислової газової турбіни і технологічному процесі генерації електроенергії.

Структура пристрою виявлення несправностей зображена на рисунок 4.

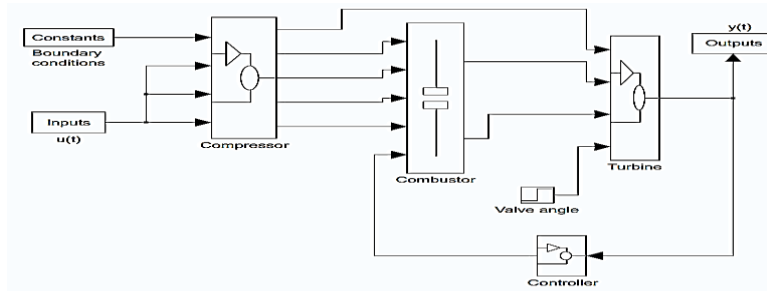


Рисунок 3. Прототип процесу генерації в пакеті MATLAB/Simulink.

Було проведено симуляцію для чотирьох несправностей, а саме:

1. Забрудненість компресора, $f_c(t)$;
2. Несправність датчика терморпери, $f_y(t)$;
3. Пошкодження ущільнення турбіни, $f_s(t)$;
4. Пошкодження приводу, $f_u(t)$.

Ці мультиплікативні несправності, які мають розвиваються повільний розвиток, були змодельовані за допомогою лінійних функцій.

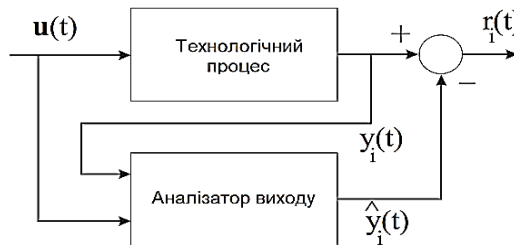


Рисунок 4. Логічна схема генератора залишку. [4]

Сигнал, що відповідає витраті повітря компресора, зображено на рисунку 5а, а несправність сигналу – на рисунку 5б.

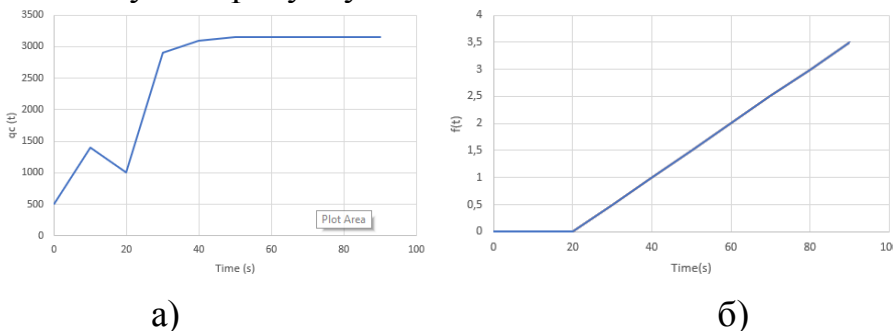


Рисунок 5. Графіки роботи та несправності компресора: а) витрата повітря компресора; б) динаміка несправності компресора.

Виявлення несправності $f_s(t)$ щодо компресора було виконано за

допомогою конфігурації вихідного спостерігача. Вхід $u(t)$ і вихід $y_i(t)$ подають спостерігачу для оцінки самого сигналу $\hat{y}_i(t)$. Полюси вихідного спостерігача для сигналу були обрані близько 0:4.

Отримані результати виявлення несправностей на різних давачах є достатніми для промислових діагностичних застосувань, враховуючи також, що мінімальна кількість виявлених несправностей може бути зменшена, якщо застосувати додаткові алгоритми аналізу залишків.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз застосування систем діагностування для виявлення несправностей в системах керування технологічними процесами. Було проведено моделювання технологічного процесу роботи турбіни для виробництва електроенергії. Моделювання проводили в пакеті прикладних програм MATLAB/Simulink. В якості вхідних сигналів використовували функції лінійного висхідного сигналу. Як компоненти системи використано модулі компресора, турбіни, контролера та пальника. Отримані графіки перехідних процесів та функцій залишків для виявлення несправностей. Виявлення несправностей має часову затримку, яку можна зменшити засновуванням додаткових алгоритмів аналізу функцій залишків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Kościelny J.M., Bartyś M., Rostek K. The comparison of fault distinguishability approaches – case study // Technical sciences. – 2019. – Vol. 67, No. 6. – P. 1059-1068. DOI: 10.24425/bpasts.2019.131566.
- [2] Kościelny J.M., Syfert M., Rostek K., Szyber A. Fault isolability with different forms of faults-symptoms relation // Journal of Applied Mathematics and Computer Science. – 2016. – Vol. 26, No. 4. – P. 815–826.
- [3] Trapani N., Longo L. Fault Detection and Diagnosis Methods for Sensors Systems: Scientific Literature Review // IFAC-PapersOnLine. – 2023. – Vol. 56, Issue 2. – P. 1253-1263. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1749>.
- [4] Simani S., Fantuzzi C., Patton R.J. Model-based fault diagnosis in dynamic systems using identification techniques. – Springer London, 2013. – 282 p.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Філіппова М.В.

УДК 658.5

Є.В. Панкратов, аспірант гр. ПБ-31ф, д.т.н., проф. Тимчик Г.С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПЕРЕВАГИ ЦИФРОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ СУЧАСНИХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Анотація. Цифрова автоматизація є ключовим інструментом трансформації промислових підприємств у контексті Індустрії 4.0. Основні переваги включають підвищення продуктивності, зниження витрат і оптимізацію бізнес-процесів. У статті розглянуто основні технології цифрової автоматизації, їхні переваги та приклади успішної реалізації на сучасних підприємствах.

Ключові слова: цифрова автоматизація, Індустрія 4.0, робототехніка, оптимізація, продуктивність.

ВСТУП

У сучасному світі стрімкого технологічного прогресу цифрова автоматизація стає ключовим фактором успіху промислових підприємств. Її значення зростає в умовах глобалізації економіки, коли конкуренція на ринку вимагає від виробників не лише забезпечення високої якості продукції, а й швидкості, гнучкості та ефективності у виробничих процесах. Індустрія 4.0, яка об'єднує концепції автоматизації, цифрових технологій та Інтернету речей (ІоТ), кардинально змінює підходи до управління підприємствами, створюючи умови для побудови «розумних» заводів.

Цифрова автоматизація дозволяє значно скоротити витрати, підвищити продуктивність і забезпечити прозорість бізнес-процесів. Завдяки інтеграції новітніх рішень, таких як хмарні обчислення, штучний інтелект (ШІ) та аналітика великих даних, підприємства отримують можливість більш ефективно управляти ресурсами, оптимізувати ланцюги поставок і прогнозувати майбутні тренди. Важливо зазначити, що ці технології не тільки трансформують виробничі процеси, а й створюють нові бізнес-моделі, які відповідають вимогам сучасного споживача.

Однак впровадження цифрової автоматизації потребує ретельного планування, інвестицій та підготовки персоналу. Виклики, які постають перед підприємствами, включають високі витрати на початковому етапі впровадження, необхідність адаптації існуючої інфраструктури та підвищення кваліфікації працівників. Незважаючи на ці труднощі, переваги, які пропонує автоматизація, значно перевищують потенційні ризики.

Таким чином, впровадження цифрових технологій у промисловість відкриває широкі перспективи для підвищення ефективності виробництва та створення інноваційних рішень, які відповідають викликам сучасної економіки. У цьому контексті дослідження переваг автоматизації є важливим кроком до усвідомлення її ролі у формуванні майбутнього промислового сектору.

ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Цифрова автоматизація охоплює широкий спектр технологій, які дозволяють оптимізувати виробничі та управлінські процеси на підприємствах. Інтеграція таких технологій у діяльність промислових компаній є основою концепції Індустрії 4.0. Серед найбільш поширених та ефективних рішень виділяють наступні:

1.1 Інтернет речей (IoT). IoT є основою сучасної цифрової автоматизації, забезпечуючи інтеграцію фізичних пристроїв, машин та датчиків у єдину інформаційну мережу. Завдяки IoT підприємства отримують доступ до реального часу даних про стан обладнання, продуктивність виробничих ліній і показники довкілля. Це дозволяє оперативно виявляти несправності, оптимізувати використання ресурсів та прогнозувати необхідність технічного обслуговування.

1.2 Робототехніка. Сучасні роботизовані системи здатні виконувати широкий спектр завдань — від зборки деталей до складних логістичних операцій. Використання роботів значно підвищує точність, швидкість і безперервність виробничих процесів. Завдяки автоматизованим роботизованим рішенням підприємства можуть зменшити залежність від людської праці, особливо у складних або небезпечних умовах.

1.3 Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання (МН). ШІ та МН використовуються для аналізу великих обсягів даних, що генеруються на виробництві. Ці технології забезпечують побудову прогнозів, оптимізацію процесів і прийняття рішень на основі зібраної інформації. Завдяки ШІ підприємства можуть ефективно прогнозувати попит, планувати виробництво та адаптуватися до змін ринку.

1.4 Хмарні технології. Хмарні сервіси забезпечують зберігання, обробку та передачу даних у реальному часі. Використання хмарних технологій дозволяє підприємствам уникнути значних витрат на локальну IT-інфраструктуру. Окрім цього, хмари забезпечують доступ до інформації з будь-якої точки світу, що є критично важливим для глобальних компаній.

1.5 Доповнена реальність (AR). AR активно впроваджується для навчання персоналу, віддаленого контролю обладнання та візуалізації виробничих процесів. Технологія дозволяє зменшити час на підготовку працівників та забезпечує вищий рівень точності в управлінні виробництвом.

1.6 Цифрові двійники (Digital Twins). Цифрові двійники створюють віртуальні копії фізичних об'єктів, які використовуються для моделювання та тестування виробничих процесів. Це дозволяє уникати ризиків, пов'язаних із реальним експериментуванням, і швидко знаходити оптимальні рішення.

Застосування зазначених технологій значно підвищує продуктивність підприємств, дозволяючи швидше адаптуватися до викликів ринку, оптимізувати виробництво і знижувати витрати. Інтеграція цих рішень є ключовим етапом на шляху до цифрової трансформації бізнесу.

ПЕРЕВАГИ ЦИФРОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Інтеграція цифрових технологій у виробничі процеси відкриває широкі можливості для модернізації промислових підприємств. Цифрова автоматизація дозволяє досягти значних економічних, технологічних та управлінських переваг, які позитивно впливають на ефективність бізнесу.

2.1 Підвищення продуктивності та ефективності. Цифрові технології автоматизації забезпечують високу швидкість виконання виробничих процесів, мінімізуючи час на виконання повторюваних завдань. Вони дозволяють

оптимізувати роботу обладнання, знижувати час простоїв та забезпечувати стабільний темп виробництва.

2.2 Зниження витрат. Автоматизація сприяє значному зменшенню виробничих витрат, зокрема на оплату ручної праці, технічне обслуговування обладнання та споживання ресурсів. Завдяки прогнозуванню й оптимізації процесів можна мінімізувати втрати матеріалів і знизити енергоспоживання.

2.3 Поліпшення якості продукції. Цифрові системи забезпечують точний контроль параметрів на кожному етапі виробництва, що дозволяє досягати стабільної якості продукції. Завдяки автоматичному виявленню дефектів підприємства можуть уникнути поставок неякісної продукції на ринок.

2.4 Гнучкість виробничих процесів. Цифрова автоматизація дозволяє швидко адаптуватися до змін у попиті, вводити нові продукти та налаштовувати виробничі лінії під специфічні вимоги клієнтів. Це особливо важливо в умовах швидкоплинного ринку.

2.5 Мінімізація людського фактору та підвищення безпеки. Завдяки автоматизації знижується ризик помилок, спричинених людським фактором. Окрім цього, цифрові технології сприяють підвищенню безпеки праці, автоматизуючи роботу у небезпечних зонах.

Цифрова автоматизація не лише покращує внутрішні процеси підприємств, а й забезпечує стратегічні переваги у конкурентній боротьбі. Завдяки їй компанії можуть ефективніше задовольняти потреби споживачів, створювати інноваційні продукти та зміцнювати свої позиції на ринку.

ПРИКЛАДИ УСПІШНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Упровадження цифрової автоматизації на промислових підприємствах демонструє значні результати, підвищуючи продуктивність, скорочуючи витрати та вдосконалюючи процеси. Нижче наведено кілька прикладів успішної інтеграції сучасних технологій у різних галузях.

3.1. Логістика: Amazon і роботизовані склади. Amazon активно впроваджує робототехніку для автоматизації складських процесів. Використання роботів Kiva, які транспортують товари до працівників, дозволило зменшити час обробки замовлень. Роботи працюють швидше та ефективніше, ніж люди, забезпечуючи обробку тисяч замовлень за короткий час.

3.2. Металургія: ArcelorMittal і використання цифрових двійників. ArcelorMittal, один із найбільших виробників сталі у світі, впровадив цифрові двійники для оптимізації виробничих процесів. Віртуальні моделі обладнання дозволяють проводити тестування й аналіз без реального втручання у виробничий процес. Це допомогло компанії оптимізувати використання енергоресурсів та знизити витрати на технічне обслуговування.

3.3. Енергетика: General Electric та хмарні технології. General Electric використовує хмарні платформи для моніторингу та управління електростанціями. Система Predix збирає дані з турбін, аналізує їх і надає рекомендації щодо оптимізації роботи. Завдяки хмарним технологіям компанія забезпечує безперебійну роботу станцій і своєчасне виявлення можливих несправностей.

3.4. Фармацевтика: Pfizer і ШІ для розробки ліків. Pfizer активно використовує штучний інтелект для прискорення розробки нових препаратів. За допомогою алгоритмів машинного навчання компанія аналізує великі масиви даних для пошуку ефективних хімічних сполук. Це дозволяє суттєво скоротити час на розробку нових лікарських засобів.

Ці приклади ілюструють, як цифрова автоматизація дозволяє підприємствам різних галузей вирішувати складні завдання, підвищувати ефективність і зміцнювати свої ринкові позиції. Інтеграція сучасних технологій є стратегічно важливим кроком на шляху до глобальної конкурентоспроможності.

ВИСНОВОК

Цифрова автоматизація є ключовим драйвером трансформації промислових підприємств у контексті сучасних технологічних викликів. Її впровадження дозволяє підвищувати продуктивність, оптимізувати витрати, забезпечувати високу якість продукції та покращувати конкурентоспроможність. Завдяки інтеграції таких технологій, як робототехніка, Інтернет речей, штучний інтелект, цифрові двійники та хмарні сервіси, підприємства отримують можливість швидко адаптуватися до змін ринку, створювати нові бізнес-моделі та підвищувати ефективність своїх процесів.

Розглянуті приклади успішної реалізації підтверджують, що автоматизація не лише покращує внутрішні процеси, а й забезпечує стратегічні переваги, сприяючи розвитку галузей, скороченню енергоспоживання та підвищенню екологічності виробництва. Проте впровадження таких технологій потребує ретельного планування, інвестицій та підготовки персоналу, що залишається одним із ключових викликів для багатьох компаній.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Панкратов Є. В., N.D.Pankratova, H.S.Tymchyk “Strategy of the cyber-physical system for a small business enterprise guaranteed functioning with the digital twin support.”, *System Research And Information Technologies No. 2 (2024) page 7 – 20. Scopus. DOI:10.20535/SRIT.2308-8893.2024.2.01*
- [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 621.396.96:004.896

В.О. Пилипенко¹, студент гр. ПБ-41мн, к.т.н. Бартків Л. Г.²

¹КПІ ім. Ігоря Сікорського, ²ДП “КІЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ”

МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІДСЛІДКУВАННЯ РАДІОСИГНАЛУ В ПРИМІЩЕННІ

Анотація. Автоматизація відслідковування радіосигналу є важливою задачею в умовах розвитку технологій радіозв'язку. У статті розглядається метод розробки автоматизованої системи моніторингу радіосигналу заснований на індикаторі сили отриманого сигналу (RSSI). Описано основні етапи функціонування системи, зокрема збір даних про рівень сигналу від радіочутливих сенсорів, їх обробка та аналіз з використанням алгоритмів фільтрації.

Алгоритм роботи системи радіомоніторингу включає ініціалізацію сенсорів для вимірювання RSSI, збір та обробку даних про рівень сигналу, фільтрацію шумів і коригування вимірів. Система аналізує якість зв'язку, виявляє зони зниженого сигналу та генерує звіти для оптимізації роботи мережі. Алгоритм також забезпечує моніторинг енергоспоживання для підвищення автономії.

Ключові слова: автоматизація, радіосигнал, RSSI, вимірювання, фільтрація.

ВСТУП

Сучасні технології радіозв'язку активно розвивається, що дозволяє підвищити ефективність управління різноманітних безпілотних систем, або їх відстеження в різних умовах. Автоматизовані системи радіо моніторингу є необхідним інструментом для аналізу якості сигналу та оптимізацію роботи радіомереж. Одна з перспективних технологій у цій сфері — метод моніторингу, заснований на вимірюванні сили отриманого сигналу (RSSI).

Запропонована система інтегрує кілька модулів, включаючи датчики RSSI, фільтрацію сигналу, алгоритми аналізу даних та візуалізацію результатів. Вона здатна працювати в режимі реального часу, виконуючи вимірювання рівня сигналу в різних точках, виявляючи зони перешкод або поганого покриття та оптимізуючи параметри радіозв'язку для забезпечення стабільного сигналу.

МЕТА РОБОТИ

Розробка алгоритмів та методів автоматизації системи радіомоніторингу на основі використання технологій вимірювання отриманого сигналу (RSSI).

Забезпечення високої точності визначення параметрів сигналу, ефективного аналізу мережевих характеристик та виявлення зон зі зниженим рівнем сигналу.

Розробка засобів фільтрації сигналів для зменшення впливу шумів і перешкод, а також створення методів візуалізації результатів для зручності аналізу даних користувачами.

АЛГОРИТМ РОБОТИ

Система відстеження на основі RSSI, розроблена в цій роботі, показана на рисунку 1. Є три бездротові вузли, з'єднані разом, включаючи два опорні вузли, зафіксовані у відомих положеннях (наприклад, на різних сторонах коридору), і невідомий цільовий вузол, місцезнаходження якого ми шукаємо. Існує три процеси для відстеження цільового вузла: вимірювання та збір RSSI, перетворення RSSI у відстань за допомогою рівняння втрати сигналу в логарифмічній шкалі та оцінка положення за допомогою запропонованих методів.

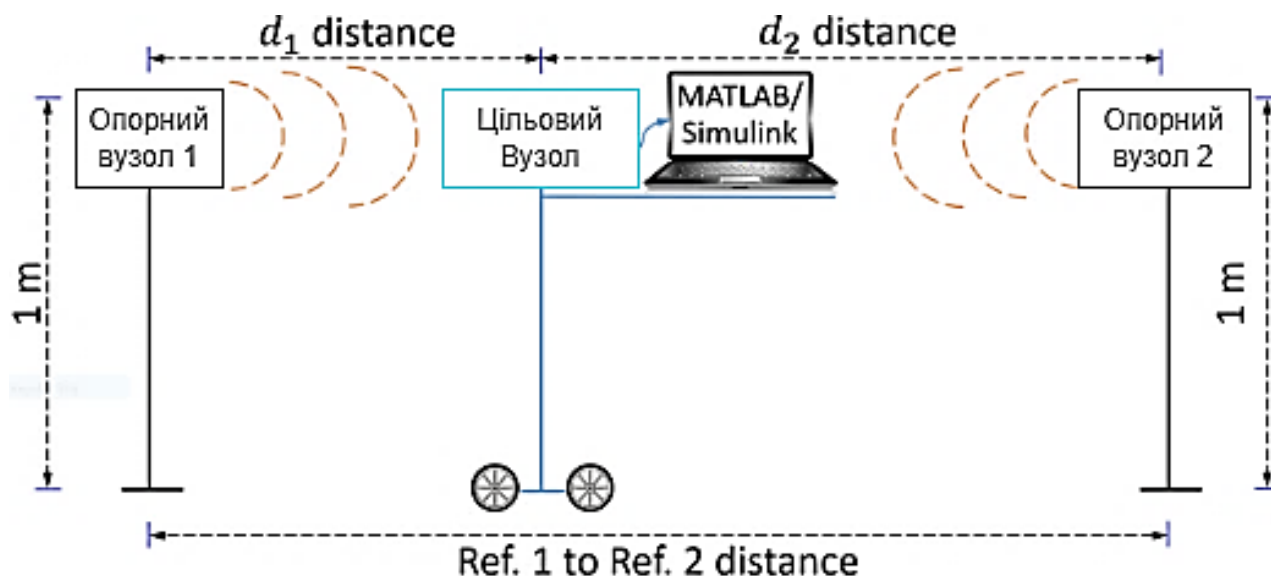


Рисунок 1. Система відстеження на основі RSSI

Щоб визначити положення цільового вузла, спочатку цільовий вузол надсилає пакет запиту опорним вузлам (тобто опорному вузлу 1 і опорному вузлу 2) за допомогою широкоповної передачі. Тут ідентифікатор цільового вузла також включається в пакет запиту. Отримавши пакет запиту, опорні вузли раптово генерують сигнал-ідентифікатор, а потім безперервно надсилають такий пакет назад до цільового вузла. Отримавши сигнали-ідентифікатори від обох опорних вузлів, цільовий вузол зчитує рівні RSSI зі свого радіомодуля. В кінці цільовий вузол передає дані RSSI на комп'ютер через дротове з'єднання.

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПОЗИЦІЇ

Для оцінювання позиції цільового вузла запропоновано кілька методів. Вони дозволяють розраховувати відстань до опорних вузлів на основі рівнів RSSI та визначати координату уздовж осі x (відстань від опорного вузла 1). Методи варіюються від простих до більш складних, із використанням вагових коефіцієнтів і аналізу сигналів.

Метод 1:

Позиція цільового вузла визначається безпосередньо за відстанню до опорного вузла 1:

$$x = d_1 \quad (1)$$

де d_1 – відстань між цільовим вузлом та опорним вузлом 1, обчислена з RSSI. Цей підхід дає базову оцінку, використовуючи лише один опорний вузол.

Метод 2:

Позиція визначається на основі різниці між відстанню між опорними вузлами і відстанню до опорного вузла 2:

$$x = D_{12} - d_2 \quad (2)$$

де D_{12} – відстань між опорними вузлами, d_2 – відстань між цільовим вузлом і

опорним вузлом 2. Цей метод дає пріоритет сигналу від опорного вузла 2.

Метод 3:

Позиція обчислюється як середнє значення результатів Методу 1 і Методу 2:

$$x = \frac{d_{1+}(D_{12}-d_2)}{2} \quad (3)$$

Цей метод враховує інформацію від обох опорних вузлів без надання переваги жодному з них.

Метод 4:

Позиція розраховується за принципом зваженої локалізації:

$$x = \frac{\omega_1 \cdot x_1 + \omega_2 \cdot x_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (4)$$

де ω_1 і ω_2 – ваги, обернено пропорційні відстаням до вузлів ($x\omega \sim 1/d$), а x_1 і x_2 – координати опорних вузлів на осі x . Ближчий вузол (з сильнішим сигналом) отримує більшу вагу.

Метод 5:

Результат визначається залежно від порівняння сигналів:

$$x = \begin{cases} d_1, & \text{Якщо } \text{RSSI}_1 > \text{RSSI}_2, \\ D_{12}-d_w, & \text{Якщо } \text{RSSI}_1 < \text{RSSI}_2. \end{cases} \quad (6)$$

Якщо RSSI-сигнали рівні, використовується середнє значення з Методу 3. Цей метод адаптується до умов сигналу.

Метод 6:

Позиція визначається за принципом експоненційно зваженої локалізації:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^2 (\omega_i \cdot \text{RSSI}_i \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^2 (\omega_i \cdot \text{RSSI}_i)} \quad (7)$$

де ω_i – вагові коефіцієнти, що залежать від відносного значення RSSI. Пріоритет отримують вузли з вищими рівнями сигналу. Ваги змінюються під час експерименту для пошуку оптимального значення, яке мінімізує помилку.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто метод автоматизованого відслідковування радіосигналу в приміщенні за допомогою вимірювання сили отриманого сигналу (RSSI). Описано шість методів оцінки позиції цільового вузла, які варіюються від простих до складніших, з використанням вагових коефіцієнтів та адаптивних алгоритмів. Кожен метод враховує різні аспекти сигналу, що дозволяє забезпечити високу точність визначення позиції в умовах змінного радіозв'язку.

В перспективі подальших досліджень планується розробка автоматизованої системи моніторингу радіосигналу для різних умов на основі використання цих методів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Sanay, A., & Navimipour, N.J. (2016). Deployment strategies in the wireless sensor network: a comprehensive review. *Computers and Communications*, 91(2016), 1–16.
- [2] Stelmakh, N., Mandrovska, S., & Galagan, R. (2024). APPLICATION OF RESNET-152 NEURAL NETWORKS TO ANALYZE IMAGES FROM UAV FOR FIRE DETECTION. *Informatyka, Automatyka, Pomiarzy W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 14(2), 77–82. <https://doi.org/10.35784/iapgos.5862>
- [3] Kandris, D., Nakas, C., Vomvas, D., & Koulouras, G. (2020). Applications of wireless sensor networks: an up-to-date survey. *Applied Systems Innovation*, 3(1), 14.
- [4] Patwari, N., Ash, J.N., Kyperountas, S., Hero, A.O., Moses, R.L. III, & Correal, N.S. (2008). Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine*, 22(4), 54–69.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Стельмах Н.В.

УДК 519.682.6:681.1

Д.М. Покрова, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ

Анотація. У статті розглядаються підходи до підвищення ефективності виробничих процесів за допомогою методів імітаційного моделювання. Проаналізовано переваги та особливості використання імітаційного моделювання. Особливу увагу приділено методикам у сфері виробничих процесів у приладобудуванні. Описується значення системного підходу до методів аналізу та синтезу для ефективного моделювання виробничих процесів. Наведено приклад дослідження процесу оброблення деталі в середовищі GPSS World. Результати, що описані у цій статті, є корисними для вдосконалення виробничого процесу, оптимізації ресурсів тощо.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, імітаційне моделювання, виробнича система, виробничий процес, приладобудування, завантаження обладнання, оптимізація процесу, система GPSS World.

ВСТУП

Ефективність функціонування сучасних підприємств значною мірою визначається рівнем впровадження передових виробничих систем (ВС), які надають можливості для скорочення затримок на всіх етапах виробничого циклу, а також забезпечують високий рівень гнучкості у задачах адаптації до змін як внутрішніх, так і зовнішніх факторів. Відповідно, одним із основних інструментів для проектування, розробки, оцінки та вдосконалення виробничих процесів і систем є моделювання. У цій статті розглядається застосування імітаційного моделювання (ІМ), яке надає можливість створення моделей, для аналізу поведінки ВС, її складових функціональних елементів, враховуючи різноманітні умови та сценарії.

Метою роботи є дослідження можливостей ІМ для аналізу, оптимізації та покращення ефективності ВС. У рамках статті визначаються ключові підходи до створення моделей, оцінюються їх переваги та обмеження, а також пропонуються методи впровадження технологій ІМ для розв'язання практичних завдань у приладобудівній галузі.

ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ

Моделювання [1] є процесом створення абстрактного представлення реального об'єкта, процесу або системи для дослідження поведінки, аналізу особливостей роботи, які можуть виникати у процесі реальної експлуатації та формування загальної оцінки. Модель, у свою чергу, є спрощеним відображенням досліджуваного об'єкта, яка включає основні характеристики та фактори, що протікають в реальних системах [2, с. 6]

ВС представляє собою комплекс взаємопов'язаних елементів, які у загальній сукупності спрямовані на створення об'єктів виробництва або надання послуг.

Тоді можна визначити основні цілі моделювання ВС [3]:

- 1) оцінка ефективності - є важливим аспектом для повного та вичерпного аналізу продуктивності, витрат, часу виконання операцій тощо;
- 2) виявлення потенційних або наявних проблем - забезпечує можливість виявлення недоліків у функціонуванні системи чи її складових елементів;

3) пошук шляхів оптимізації - необхідно для розробки шляхів підвищення рівня ефективності, скорочення витрат ресурсів, часу виконання операцій тощо;

4) прогнозування - використовується для прогнозування поведінки системи на основі різних сценаріїв розвитку, при різних зовнішніх та внутрішніх параметрах;

5) підтримка прийняття рішень - надає основу для обґрунтованого управління виробничими процесами.

На основі вказаних цілей і задач моделювання можна вказати ключові підходи до моделювання, що представлені в вигляді загальної структури на рис. 1.

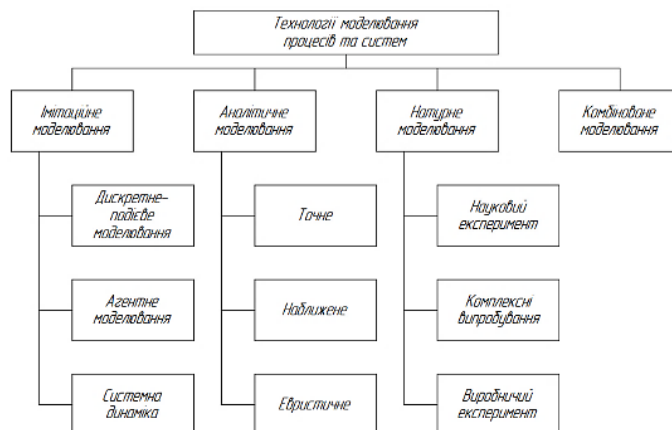


Рисунок 1. Структура технологій моделювання процесів та систем

Розглянемо детальніше описані технології моделювання [4]:

1) імітаційне моделювання - передбачає розробку моделі, яка повторює поведінку досліджуваної системи. Використовується для дискретно-подійних і динамічних систем;

2) аналітичне моделювання - ґрунтується на застосуванні математичних формул для опису процесів. Перевагами є швидкість та точність моделювання для простих моделей;

3) натурне моделювання - передбачає безпосередню побудову фізичних макетів та прототипів для дослідження системи;

4) комбіноване моделювання [2, с. 8] - поєднує у собі різні підходи для комплексного аналізу досліджуваної системи. Перевагою застосування є гнучкість та можливість виконання аналізу різноманітних аспектів. Для вибору оптимального методу моделювання ВС сформуємо їх порівняльні характеристики [5]:

- аналітичне моделювання зручне для виконання простих задач, де система може бути описана математично. Цей метод не відповідає вимогам щодо побудови складної моделі ВС з можливістю динамічної зміни вхідних та зовнішніх параметрів;
- натурне моделювання забезпечує високу точність результатів, які максимально наближені до реальних, але є неможливим для реалізації в наслідок високої вартості обладнання, часу та є недоречним з огляду на технічні можливості;
- комбіноване моделювання є доцільним для розв'язання складних задач, що потребують багатогранного аналізу, але у даному випадку не є зручним варіантом тому, що потребує багато часу та є досить складним для реалізації;

- імітаційне моделювання є найбільш універсальним і дозволяє аналізувати складні системи враховуючи зміну параметрів, а також забезпечує візуальне відтворення моделі.

Таким чином, оптимальним методом моделювання ВС для розв'язання задачі підвищення ефективності в приладобудуванні є метод імітаційного моделювання. найбільш оптимальним для виконання поставленої є задачі.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАСОБАМИ СИСТЕМИ GPSS WORLD

Побудова імітаційної моделі представляє поетапний процес, що забезпечує створення точного та ефективного інструменту для виконання аналізу та подальшої оптимізації ВС. Для застосування імітаційного моделювання ВС в приладобудуванні вибрано систему GPSS World. Цей процес можна описати таким переліком етапів: формулювання проблеми та постановка задачі; збирання, аналіз, та формування вихідних даних; побудова концепції моделі; вибір програмного забезпечення для виконання моделювання; розробка моделі; верифікація моделі; валідація моделі; проведення експериментів з моделлю; аналіз результатів; оптимізація моделі; документування отриманої моделі; впровадження системи. Опис технологічного процесу виготовлення деталі “шарнір приводу” наведено у таблиці 1. Обсяг партії складає 100 одиниць.

Таблиця 1. Технологічний процес виготовлення деталі “шарнір приводу”

Назва операції	Час виконання (хв)	Обладнання	Час налаштування (хв)
005 Заготівельна	0,96	1	відсутнє
010 Токарна	1,948	1	1
015 Токарна	2,87	1	1,77
020 Токарна	14,1	1	10,2
025 Токарна	13,35	1	1,29
030 Токарна	2,75	1	0,42
035 Токарна	5,839	1	1,42
040 Токарна	4,268	1	2,444
045 Фрезерна	0,9	1	0,5
050 Фрезерна з ЧПК	10,66	1	5,936
055 Свердлильна	0,26	1	0,4
060 Свердлильна	0,03	1	0,3

Як приклад застосування методики імітаційного моделювання у середовищі GPSS World проведено імітацію ВП виготовлення деталі з загальним часом оброблення в 26,67 год. (96000 с.). У створеній імітаційній моделі представлено 80 блоків операцій (BLOCKS) та 13 одиниць обладнання FACILITIES (OBOR1 - OBOR13).

В результаті аналізу використання обладнання ВС (UTIL.) встановлено, що: на одиниці OBOR4 виявлено 100% завантаження, що свідчить про його критичну важливість у виробничому циклі; OBOR1 використовувався лише на 19,2%, а OBOR9 - 5,8%, що свідчить про низьку її завантаженість, можливо демонструє простій.

Завантаженість іншого обладнання залишається на помірному рівні (див. рис.2);

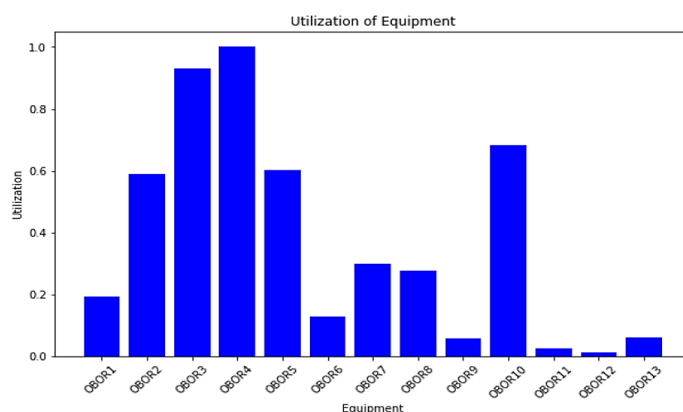


Рисунок 2. Діаграма завантаженості обладнання

В результаті аналізу черг перед виконанням відповідної операції виявлено значну чергу на етапі, що пов'язаний з OBOR4. Черга OCHER4 досягла 15284 об'єкти із середнім часом очікування 10,5 год. (38087 с.). Це вказує на проблемне місце ВП, яке має значний вплив на загальну ефективність виробництва. На інших етапах середній час очікування склав 0 с., що свідчить про достатню пропускну здатність (див. рис. 3);

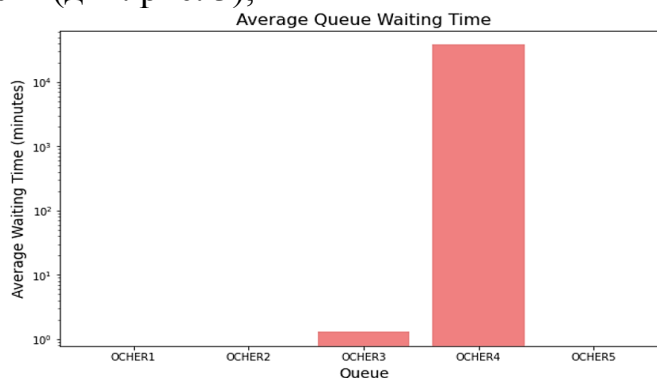


Рисунок 3. Графік середнього часу очікування у черзі

Аналіз роботи виробничої ділянки встановив простої деяких одиниць обладнання. Одиниці OBOR1 та OBOR9 мають потребу в оптимізації для більш ефективного використання. OBOR4 потребує розвантаження тому, що поточний стан роботи OBOR4 спричиняє затримки у роботі інших. На рис. 4 представлено гістограму використання виробничих ресурсів при обробленні деталі.

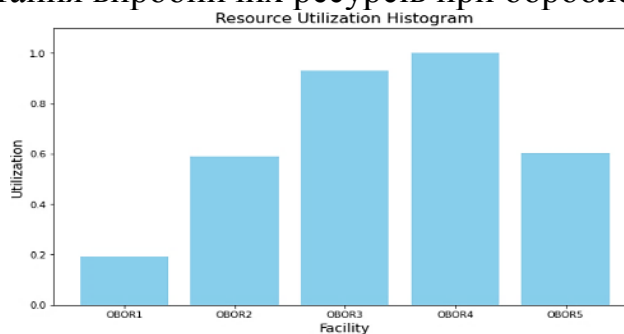


Рисунок 4. Гістограма використання ресурсів

Таким чином, моделювання роботи обладнання при обробленні деталі показав критичну необхідність оптимізації обладнання OBOR4 шляхом

перерозподілу виконавчих завдань, що можна досягнути збільшенням кількості використовуваного обладнання на даній операції або, за можливості, зменшити час виконання операції.

ВИСНОВКИ

Аналіз методів моделювання продемонстрував, що найбільш універсальним і доцільним для дослідження складних виробничих систем з метою підвищення їх ефективності є імітаційне моделювання.

Для реалізації процесу імітаційного моделювання запропоновано послідовність його етапів його при дослідженні і оптимізації роботи виробничих систем.

Виконано аналіз систем імітаційного моделювання показав доцільність його застосування в середовищі в GPSS World.

Наведено приклад використання системи GPSS World для дослідження процесу виготовленні деталі “шарнір приводу” шляхом імітаційного моделювання. Визначена завантаженість використовуваного обладнання на етапах оброблення деталі, виконано її візуалізацію та надано рекомендації щодо оптимізації роботи ВС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Д.Д. Сорочинський, С.П. Вислоух. Підвищення якості приладобудівного виробництва засобами імітаційного моделювання. Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 176–179.
- [2] В.Б. Неруш, В.В. Курдеча. Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій. К.: НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. – 115 с.
- [3] Р.Н. Кветний, І. В.Богач, О.Р. Софіна, О.М. Шушура. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1. [Електронне джерело] режим доступу: <http://surl.li/kjivis> (дата звернення 23.11.24).
- [4] О.В. Махней. Лабораторний практикум з імітаційного моделювання у GPSS. [Текст]: методичні рекомендації до проведення лабораторних занять. Івано-Франківськ: Видавничодизайнерський відділ Центру інформаційних технологій Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – 36с.
- [5] А.А. Майстренко, Л.М. Рижанкова. Моделювання виробничих процесів і систем: конспект лекцій. - К.: КНУБА, 2013. – 56 с.

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

УДК 621.9.08:658.562

*В. В. Проценко, студент гр. ПБ-41мп, к.т.н., доц. Шевченко В. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ

***Анотація.** У статті досліджуються сучасні підходи до автоматизації виробничих процесів у приладобудуванні із використанням роботизованих систем і технологій штучного інтелекту (ШІ). Особливу увагу приділяється колаборативним роботам, застосуванню комп'ютерного зору та алгоритмів прогнозувального обслуговування. Запропоновано концептуальну схему інтеграції таких систем у виробничі цикли. Наукова новизна полягає у визначенні нових підходів до адаптації ШІ для контролю якості виробництва.*

***Ключові слова:** автоматизація, штучний інтелект, приладобудування, комп'ютерний зір.*

ВСТУП

У сучасних умовах глобалізації та стрімкого технологічного прогресу автоматизація виробничих процесів стає ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності промисловості. Приладобудування, як одна з найбільш високотехнологічних галузей, відіграє важливу роль в інноваційній економіці, забезпечуючи створення складних технічних систем та приладів. Інтеграція роботизованих систем і технологій штучного інтелекту відкриває нові можливості для вдосконалення виробництва, підвищення продуктивності та якості продукції, що підкреслює актуальність дослідження сучасних підходів до їх впровадження.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка та аналіз сучасних методів автоматизації виробництва в приладобудуванні шляхом інтеграції роботизованих систем і ШІ для підвищення ефективності, якості продукції та зниження витрат.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Роботизовані системи стали ключовим елементом розвитку приладобудування, сприяючи вдосконаленню технологічних процесів та підвищенню продуктивності. Сучасне обладнання дозволяє автоматизувати різні етапи виробництва, забезпечуючи точність виконання завдань і зменшуючи вплив людського фактора. Завдяки інноваційним технологіям, роботизовані системи можуть виконувати складні функції з мінімальними витратами часу та ресурсів [1].

Одним із найважливіших завдань роботизованих систем є автоматизоване складання приладів. Це особливо важливо у виробництві складних технічних пристроїв, таких як медичне обладнання чи електронні компоненти. Роботи здатні з високою точністю працювати з мікродеталлями, що неможливо забезпечити вручну. Завдяки цьому мінімізується кількість помилок, що покращує якість готової продукції. Іншою важливою функцією є контроль якості. Системи з комп'ютерним зором швидко і точно виявляють дефекти на різних етапах виробництва, аналізуючи отримані дані у режимі реального часу. Окрім цього, роботизовані системи активно застосовуються у внутрішній логістиці підприємств, автоматизуючи транспортування матеріалів і готової

продукції між цехами [2].

Серед роботизованих рішень, які застосовуються у приладобудуванні, особливу увагу привертають колаборативні роботи, або *cobots*. Вони розроблені для безпечної взаємодії з людьми, що дозволяє ефективно інтегрувати їх у виробничі процеси поруч із працівниками. Роботи для мікроскладання є ще одним важливим типом обладнання, яке використовується у приладобудуванні. Вони спеціалізуються на роботі з надзвичайно дрібними компонентами, що актуально для виробництва сенсорів, мікросхем або оптичних приладів. Інтелектуальні маніпулятори, у свою чергу, забезпечують гнучкість виробничих процесів завдяки адаптації до різних завдань, таких як сортування або складання компонентів [3].

Штучний інтелект відіграє ключову роль у вдосконаленні роботизованих систем, відкриваючи нові можливості для автоматизації та підвищення ефективності виробничих процесів. Завдяки алгоритмам машинного навчання та сучасним методам аналізу даних, ШІ забезпечує адаптацію роботів до складних умов роботи та допомагає знижувати витрати на виробництво. У поєднанні з робототехнікою ШІ стає основою для створення інтелектуальних виробничих систем [2].

Одним із важливих напрямів використання ШІ є оптимізація виробничих процесів за допомогою аналізу великих обсягів даних. Машинне навчання дозволяє аналізувати дані, отримані з датчиків, виробничого обладнання та систем управління, для виявлення закономірностей та прогнозування можливих проблем. Наприклад, алгоритми прогнозувального обслуговування (*predictive maintenance*) здатні визначати несправності ще до їхнього виникнення, що дозволяє своєчасно проводити ремонти та мінімізувати час простою обладнання. Це значно підвищує ефективність роботи роботизованих систем і зменшує втрати, пов'язані з аварійними ситуаціями.

Спираючись на розглянуту інформацію можна зробити висновки, що використання та впровадження ШІ є надперспективним напрямком розвитку приладобудування. Система на основі генеративного ШІ може аналізувати поточну ситуацію у виробничих процесах (затримки, дефекти, зміни в замовленнях) і в реальному часі генерувати оптимальні рішення, такі як:

- Нові маршрути складання;
- Перерозподіл роботи між різними роботизованими системами;
- Заміна інструментів на альтернативні для уникнення затримок.

Комп'ютерний зір, у свою чергу, є важливим інструментом ШІ, який активно використовується для контролю якості продукції. Роботизовані системи, оснащені камерами та алгоритмами обробки зображень, можуть у режимі реального часу перевіряти відповідність продукції встановленим стандартам. Це включає аналіз форми, розмірів, кольору та інших параметрів, що дозволяє швидко виявляти браковані вироби. Завдяки цьому виробництво стає більш точним і ефективним, а рівень браку значно знижується [4].

Ще одним важливим аспектом застосування комп'ютерного зору є автоматизоване виявлення дефектів. Роботи з ШІ можуть аналізувати навіть найменші відхилення у структурі виробів, що часто залишаються непоміченими людським оком. Це особливо актуально у галузях, де потрібна висока точність,

наприклад, у виробництві медичних приладів або електронних компонентів. Застосування таких технологій не тільки покращує якість продукції, але й підвищує швидкість контролю, що є важливим для великих обсягів виробництва.

Спираючись на розглянуту інформацію запропановано наступний алгоритм інтеграції системи комп'ютерного зору, що адаптований до потреб високоточного виробництва, характерного для приладобудування, і націлений на підвищення ефективності виробничих процесів:

1. Аналіз потреб та цілей;
2. Вибір обладнання;
3. Розробка профільного програмного забезпечення;
4. Інтеграція з існуючими роботизованими системами;
5. Тестування та калібрування;
6. Запуск та моніторинг;
7. Навчання персоналу, оптимізація та масштабування.

Завдяки впровадженню даного алгоритму промисловість може отримати нові інструменти для створення інноваційних рішень, які відповідають вимогам сучасного ринку.

Інтеграція роботизованих систем та технологій штучного інтелекту у виробничі процеси є складним, але стратегічно важливим кроком для сучасних підприємств. Така інтеграція дозволяє оптимізувати виробничі цикли, підвищити продуктивність і забезпечити конкурентні переваги на ринку. Однак процес впровадження потребує детального планування, подолання технічних і організаційних викликів, а також врахування реального досвіду успішних проєктів [5].

На рисунку 1 можна побачити схему інтеграції сучасних систем у процеси приладобудування, що базується на аналізі попередньо розглянутої інформації.



Рисунок 1. Концептуальна схема автоматизації та цифровізації приладобудування на основі сучасних методів

Перший етап інтеграції починається з аналізу поточних процесів на підприємстві. На цьому етапі оцінюється стан існуючого обладнання, технологій і виробничих ланцюжків. Основна мета — визначити, які саме завдання можуть бути автоматизовані або вдосконалені за допомогою роботизованих систем і ШІ.

Далі розробляються моделі інтеграції, що включають вибір відповідного обладнання, проектування нових або адаптацію існуючих робочих процесів. Останній етап — тестування і налагодження систем, під час якого проводиться перевірка роботи обладнання у реальних умовах, усуваються недоліки та забезпечується інтеграція з іншими виробничими системами.

Незважаючи на значні переваги, процес впровадження роботизованих систем і ШІ має свої виклики. Одним із найбільш поширених є високі витрати на закупівлю, установку та налаштування обладнання, а також на розробку програмного забезпечення для його управління. Крім того, часто виникає питання сумісності роботизованих рішень із уже наявними системами, що може спричинити додаткові технічні складнощі.

ВИСНОВОК

У роботі виконано аналіз сучасних методів автоматизації, відповідно до якого запропоновано нові підходи до інтеграції систем у процеси виробництва, уточнено алгоритми інтеграції систем у виробничі процеси. Визначено, що інтеграція роботизованих систем та ШІ у виробничі процеси дозволяє досягти підвищення ефективності, зниження собівартості, а також підвищення прибутковості підприємств приладобудування. Використання таких рішень зменшує витрати, мінімізує кількість дефектів, оптимізує виробничі цикли та підвищує конкурентоспроможність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Shevchenko, V. (2024). Details Processing Control System at the Automated Manufacturing. 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_10
- [2] Покрас О. С. Можливості Індустрії 4.0 у забезпеченні міжнародної конкурентоспроможності інноваційної продукції підприємств приладобудування. *Міжнародне науково-технічне співробітництво: принципи, механізми, ефективність*. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. С. 139–141.
- [3] Пилипенко О. М. Особливості використання колаборативних промислових роботів та перспективи розвитку колаборативних технологій. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, 2023. № 4(323)*. С. 251–256. DOI: 10.31891/2307-5732-20.
- [4] Остапенко І. В. Комп'ютерне зорове сприйняття. Збірник студентських наукових статей. Автоматизація та приладобудування ADED-2023. Вип. 1 [електронне видання]. 2023. С. 47–51.
- [5] Войтко С. В. Бізнес-модель Індустрії 4.0 у розвитку приладобудування України: матеріали *XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні»*. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Р. 324–327.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шевченко В. В.

УДК 621.7.022.6

Д.С. Селюк, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Шевченко В.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОЧИЩЕННЯ ВИРОБІВ

Анотація. Розроблено систему керування процесом ультразвукового очищення деталей перед складанням приладів, на базі мікроконтролера ESP 32, що забезпечує підвищення якості очищення поверхні деталей, збільшує продуктивність та зменшує собівартість обробки. Розроблено алгоритм роботи системи, який забезпечує автоматичне припинення процесу обробки при відсутності зміни параметрів, що приводить до зменшення корозії при тривалій обробці. Для контролю процесу використано аналіз забрудненості та провідності миючого розчину на основі оптопар та електродів з подільником напруги.

Ключові слова: ультразвук, очищення, автоматизована система, кавітація, алгоритм

ВСТУП

За останнє десятиліття ультразвукові очисники широко використовувалися в багатьох галузях промисловості. Тепер ця технологія знаходить свій шлях до дому для чищення овочів, фруктів та одягу. У широко використовуваних ультразвукових очищувачах п'єзоелектричні перетворювачі зовні прикріплені до сталевого резервуару для генерування ультразвукових хвиль всередині резервуара.

Ультразвуковий очисник - це пристрій, в якому ультразвукові хвилі генеруються всередині рідкого середовища за допомогою зовнішнього джерела. Це зовнішнє джерело зазвичай є перетворювачем на основі п'єзоелектричного матеріалу, який генерує ультразвукову частоту при живленні змінною напругою в діапазоні резонансних частот. Десятиліттями ультразвукові очищувачі використовувалися в металургії, промисловому виробництві, текстильній, автомобільній промисловості, хімічних лабораторіях тощо. Деякі з них широко використовуються для очищення скляного посуду, ювелірних виробів, хірургічних інструментів, автомобільних деталей, зубів і підвищення хімічної реактивності. Окрім технічного аспекту, зараз промисловість використовує ультразвук для очищення й для інших переваг [1].

До них відносяться менший час очищення для кількості частин, більш ефективне очищення в порівнянні зі звичайним очищенням, підвищення продуктивності та зниження вартості матеріалів [2].

У цій роботі розроблено та впроваджено інтелектуальний ультразвуковий очисний пристрій. Під час процесу очищення брудний матеріал, занурений у рідину, змінює каламутність і провідність рідини для очищення. Час очищення процесу контролюється інтелектуально шляхом вимірювання каламутності та провідності рідини. Процес очищення припиняється коли матеріал повністю очищений або рідина більше не має властивостей очищення, тобто не змінює свою провідність та каламутність [3]. Це виключає необхідність безперервного контролю оператора шляхом аналізу рідини. Ця система має на меті підвищити ефективність очищення і таким чином зменшити кавітаційну ерозію та запобігти непотрібному споживанню енергії [4]. Ймовірно пошкодженню поверхні матеріалу, що очищається, можна було б запобігти, завершивши процес очищення без надання будь-якої можливості для помилок оператора.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Ультразвуковий очисний пристрій широко використовується для очищення матеріалів протягом кількох десятиліть. Факторів, ефективних при очищенні матеріалів методом ультразвукового очищення, досить багато. Це загалом миюча рідина, температура, стоячі хвилі, потужність і частота. Однак розмір, форма та матеріал резервуара, використовуваний ультразвукові перетворювачі, тип і розмір матеріалу, що очищається, впливають на процес очищення в ультразвуковому очищенні [5].

Ультразвуковий очищувач складається з резервуара для рідини, ультразвукового перетворювача, інвертора та схем аналізу рідини. Рідинний резервуар пристрою обраний зі сталевого матеріалу. Ультразвуковий перетворювач був розміщений на нижній поверхні бака, щоб не впливати на інші частини пристрою.

Була реалізована повномостова схема інвертора для керування ультразвуковими перетворювачами [6]. Давачі провідності та каламутності, які вимірювали тривалість процесу очищення, були розміщені в баку для очищення. Ці датчики надсилають дані в схему контролера. Тривалість процесу очищення визначається експертною системою в схемі контролера. Блок-схема системи показана на рис. 1.

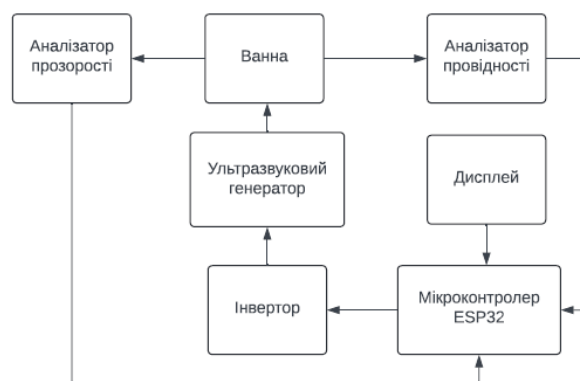


Рисунок 1. Структурна схема системи керування процесом ультразвукового очищення

У впроваджену систему ультразвукового очищення вбудовано ДВА програмних забезпечення. Одне з них керує інвертором і має алгоритм контролю температури. Воно також вимірює температуру, провідність і каламутність і надсилає дані іншому для визначення періоду роботи. Інший мікроконтролер або керує процесом очищення, або працює через інтерфейс користувача. Алгоритм роботи системи реалізованої системи показано на рис. 2.

Коли починається процес обробки розчин є прозорим та має певну провідність. З перебігом часу параметри прозорості та провідності змінюються. Обробку необхідно проводити доти, поки ці параметри змінюються в часі. Якщо зміни прозорості та провідності припиняються, можна вважати, що процес очищення завершено. Тобто система аналізує два параметри і якщо вони перестають змінюватися зупиняє ультразвукову обробку.

Він визначає період очищення при зміні властивостей рідини. Крім того, цей

алгоритм запускається, коли позитивна перевірка наявних змін рідини. Також мікроконтролер регулює тривалість очищення, контролюючи рідкий розчин. Перед тим, як запустити систему, спочатку необхідно перевірити, чи є в баку рідина чи ні. Якщо резервуар не наповнений рідиною, це означає, що система перевантажена, і це може призвести до пошкодження схеми генератора та перетворювачів.

Інтелектуальний алгоритм системи показано на рис. 3.

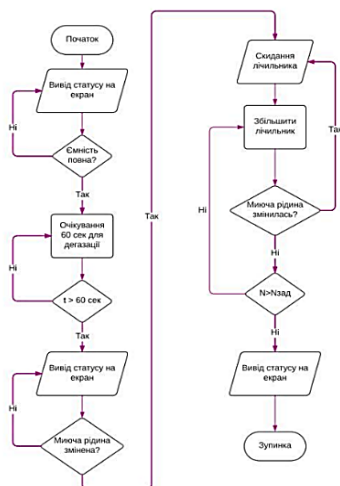


Рисунок 2. Алгоритм роботи системи керування процесом ультразвукового очищення

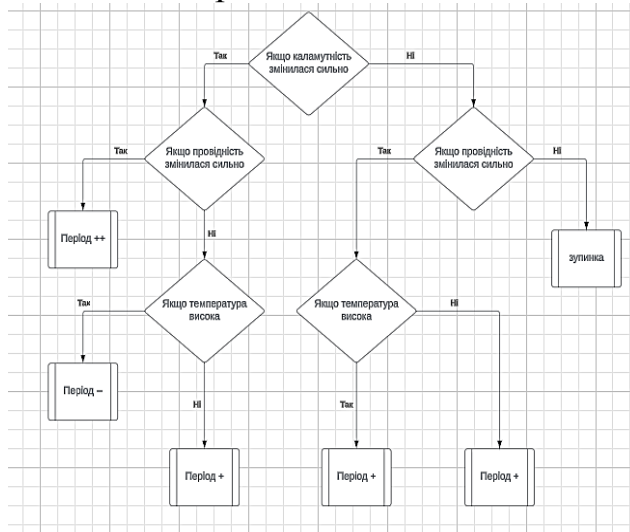


Рисунок 3. Алгоритм роботи експертної системи визначення тривалості обробки

Забруднення та каламутність рідини в баку для очищення показує деякі зміни під час процесу очищення, а час очищення розраховується шляхом інтерпретації експертної системи.

Система автоматично завершує процес очищення, досліджуючи зміни каламутності та рівня провідності рідини. У аналізаторі рідини, якщо значення параметрів провідності та каламутності не змінюються п'ять разів під час очищення, процес очищення припиняється, оскільки ми припускаємо, що процес завершено.

Результати експериментальних досліджень також наведено в табл. 1. Тип миючої рідини впливає на час очищення. Аналогічно, величина температури миючої рідини збільшує період очищення та ефективність очищення.

Таблиця 1. Час, витрачений на обробку у воді та мильному розчині

Температура, °C	Час очищення у воді, сек	Час очищення у мильному розчині, сек
20	295	128
	288	126
	292	129
40	231	114
	232	118
	227	109

Відповідно до таблиці видно, що наявність мильного розчину суттєво

змінює час очищення порівняно з водою, практично на 50%. Проте зміна температури в мильному розчині приводить до зміни швидкості лише на 10%. Зміна температури при використанні звичайної води суттєво впливає на час обробки і скорочує його на 30%.

ВИСНОВКИ

Розроблена система керування процесом ультразвукового очищення деталей перед складанням приладів, на базі мікроконтролера ESP 32, що забезпечує підвищення якості очищення поверхні деталей, збільшує продуктивність та зменшує собівартість обробки. Розроблено алгоритм роботи системи, який забезпечує автоматичне припинення процесу обробки при відсутності зміни параметрів, що приводить до зменшення корозії при тривалій обробці. Для контролю процесу використано аналіз забрудненості та провідності миючого розчину на основі оптопари та електродів з подільником напруги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Thongsri J., Tangsopa W. *A Dual Frequency Ultrasonic Cleaning Tank Developed by Transient Dynamic Analysis*. Appl. Sci. 2021. 11. P. 699. DOI: 10.3390/app11020699.
- [2]Селюк Д. С., Шевченко В. В. Автоматизована система контролю сушіння виробів. Збірник праць XIX 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. С. 154-156.
- [3]Duran, F. Design and implementation of an intelligent ultrasonic cleaning device. *Intelligent Automation and Soft Computing*. January. 2018. Vol.25. № 3. P. 441-450. <https://doi.org/10.31209/2018.11006161>.
- [4]Niemczewski B. Cavitation intensity of water under practical ultrasonic cleaning conditions. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2014. Vol. 21. №.1. P. 354-359. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.07.003>.
- [5]Xu H., Xu J., Niu F., Yang P. Cavitation dose in an ultrasonic cleaner and its dependence on experimental parameters. *Applied Acoustics*. 2016. Vol. 101. P. 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.08.020>.
- [6]Shevchenko, V. (2024). Details Processing Control System at the Automated Manufacturing. 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. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44347-3_10.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шевченко В.В.

УДК 629.7

А.Ю. Сидорчук ¹, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Безугла Н.В. ¹,
к.т.н. Бартків Л. Г. ²

¹КПІ ім. Ігоря Сікорського, ²ДП «КІЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ»

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ФІКСАЦІЇ КАМЕРИ FPV ДРОНА

Анотація. В даній роботі проведено аналіз основних видів безпілотних літальних апаратів. Виділено особливості залежності швидкості літального апарату від кута нахилу, а також вплив кута нахилу на кут огляду під час польоту. Запропоновано систему автоматизованої фіксації камери FPV дрона. Обґрунтовано вибір елементної бази прототипу. Проведену прошивку відповідних компонентів за допомогою програмного забезпечення BetaFlight.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, FPV дрон, фіксація камери, програмне забезпечення BetaFlight.

ВСТУП

В сучасному світі безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали невід’ємною частиною в багатьох сферах. З розвитком нових технологій в галузі розробки дронів створюються нові системи для виконання завдань в різноманітних напрямках та середовищах. В звичному розумінні слова, безпілотний літальний апарат асоціюється з апаратом, який використовується військовими, але, окрім, повітря, дрони можуть використовуватися на землі, воді та навіть під водою, а також для різних цілей, включаючи фотографію, відеозйомку, геодезію, інспекцію та навіть доставку [1]. Серед повітряних дронів основними є мультикоптери, FPV-дрони та крилаті БПЛА [2]. FPV-дрони поділяються на три види за призначенням, розміром та розміщенням камери [3]. Зазвичай дрони мають переднє розміщення камери. Основним модулем FPV дронів, є система відеопередавача, особливість роботи якого і відрізняє FPV дрон від інших видів БПЛА [4].

Особливістю керування FPV дрона є необхідність утримання кута нахилу дрона до напрямку його руху. Якщо камера зафіксована на дроні статично, під час набору швидкості дрон втрачає видимість на об’єкти перед ним (Рис. 1, а). Це легко виправити, якщо змінити кут нахилу камери дрона перед зльотом, але в результаті виправлення цієї проблеми, виявиться, що провести успішний зліт стає вкрай важко, через втрату кута огляду на початку польоту.

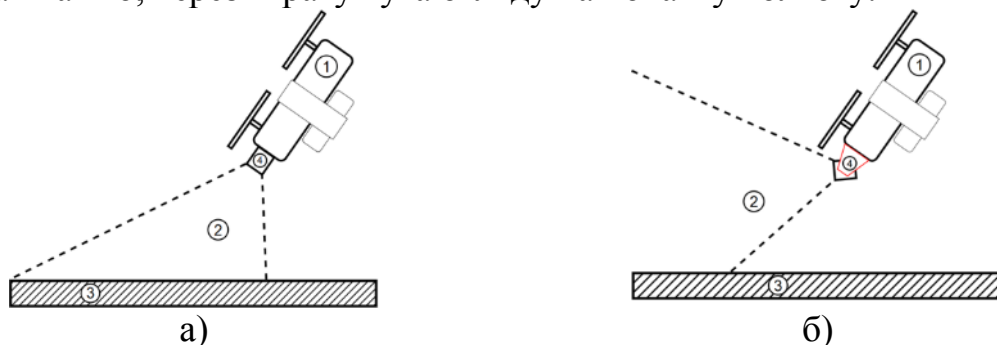


Рисунок 1. Принцип утримання кута нахилу FPV дрона та кут огляду:

1 - дрон, 2 - кут обзору, 3 - земля, 4 - камера;

а – без системи стабілізації камери, б) – з системою стабілізації камери

Оскільки, для стабільної підтримки швидкості та висоти, дрон під час польоту має тримати певний кут нахилу до вектору руху, то через таку особливість управління дроном, камера, яка закріплена статично, повертається

за дроном і внаслідок цього велика частина огляду переходить в сліпу зону, що суттєво знижує шанси вчасно ідентифікувати ціль та ефективно її урадити.

Введення системи стабілізації камери допомагає уникнути описаних вище проблем, залишаючи за оператором БПЛА можливість регулювати кут нахилу дрону під час польоту (рис.1, б). Це допомагає значно розширити кут огляду дрона та мінімізувати сліпі зони камери. Пілот отримує більше інформації про ціль та може вчасно прийняти відповідні рішення, щодо використання ресурсу дрона.

Метою роботи є розширення функціональних можливостей FPV дрону за рахунок створення засобу автоматизованої фіксації камери в заданому положенні.

ПРИНЦИП РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ФІКСАЦІЇ КАМЕРИ FPV ДРОНУ

Для реалізації поставленої мети було розроблено функціональну схему FPV дрону на базі 10" рами та здійснено вибір основних компонентів (рис.2).

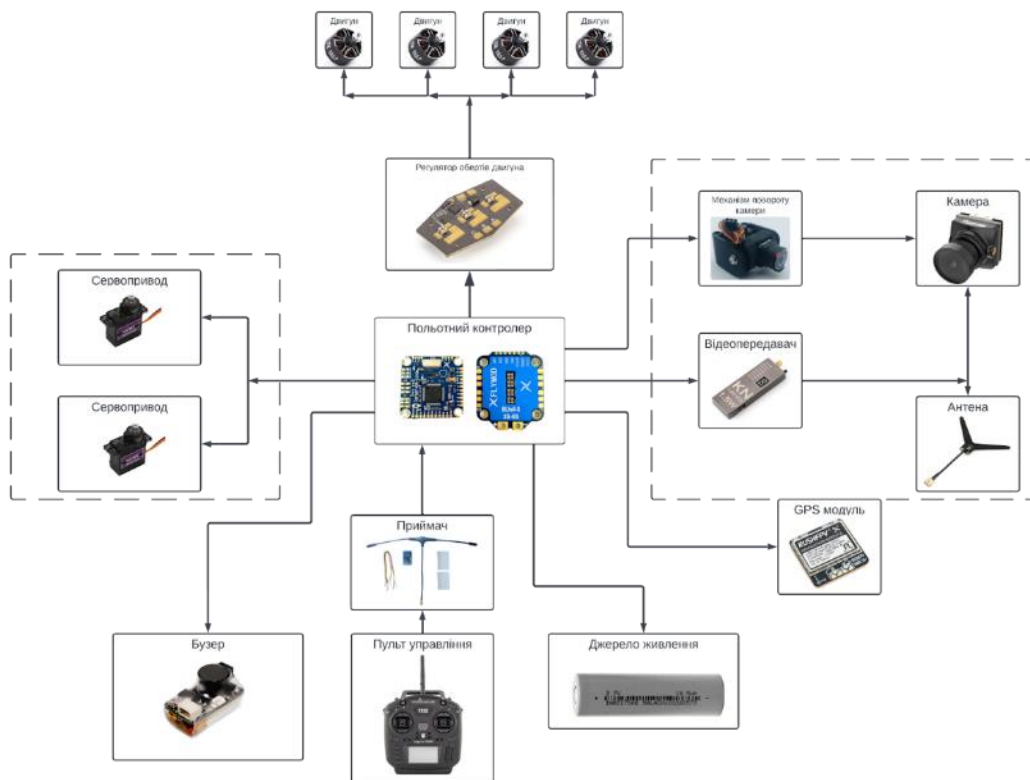


Рисунок 2. Функціональна схема FPV-дрону з системою автоматизованої фіксації камери в заданому положенні

Перед початком запуску дрона, відбувається процес встановлення зв'язку між дроном та пультом керування. За підтримку зв'язку між дроном та пультом відповідає приймач радіокерування. Інформація, яка передається пультом на приймач радіокерування поступає в польотний контролер, звідки і відбувається передача сигналів по іншим компонентам дрона. [посилання]

Для забезпечення фіксації камери було введено вузол відеопередавача дрона та механізм повороту камери. Вузол відеопередавача дрона складається з наступних компонентів: відеопередач, камера та антена. Відеопередавач

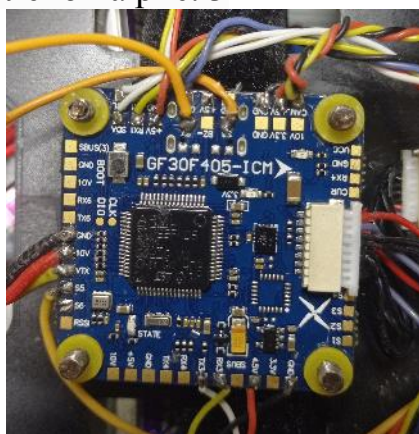
виступає хабом між камерою та антеною. Камера передає інформацію з зображенням на Відеопередавач, ця інформація обробляється та передається Антеною на відеопристрій (VR окуляри або екран), що дозволяє оператору оцінювати ситуацію, перешкоди, яких треба уникнути під час польоту, та дозволяє зорієнтуватися на місцевості, визначити подальший напрямок руху.

Механізм повороту камери і є ключовою фігурою в розробці системи створення універсального FPV-дрона. Отримуючи інформацію з гіроскопа, який знаходиться на польотному контролері, про положення дрона в просторі (кут нахилу по осям) сервопривод повертає камеру в стабільне положення. Початкове положення визначається оператором дрона, і регулюється за допомогою тумблера на пульті керування [5].

РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ФІКСАЦІЇ КАМЕРИ FPV ДРОНА

Під час розробки та складання прототипу системи автоматизованої фіксації камери FPV дрона, було зібрано готовий до використання виріб розміром 10" з системою стабілізації та керованого нахилу камери.

Результати пайки регулятора обертів (ESC) та польотного контролера (FC) представлено на рис. 3



а)

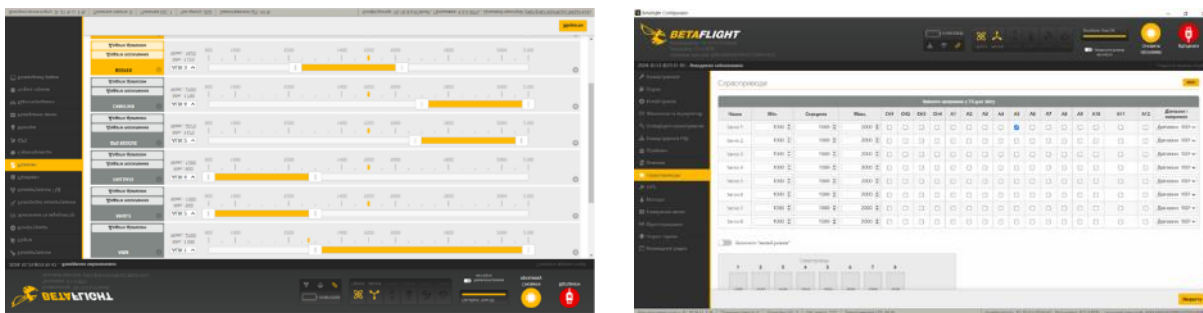


б)

Рис. 3 - результати пайки компонентів дрона на а) ESC б) FC

Після збирання прототипу було проведено прошивку відповідних компонентів за допомогою програмного забезпечення BetaFlight [6]. Результати процесу представлено на рис.4.

Меню “Режими” на рис. 4 а), використовується для бінду - призначення модулів дрона, відповідних тумблерів на пульті керування. Меню “Сервоприводи” на рис. 4 б), призначення для налаштування сервоприводів, наявних в системі дрона. Зазвичай в цьому меню відбувається налаштування стабільної роботи скидів FPV-дрона. Завдяки проведенню роботи з програмним забезпеченням вдалося забезпечити коректну роботу як самого FPV-дрона, так і системи стабілізації камери дрона.



а)

б)

Рисунок 4. Інтерфейс ПЗ BetaFlight: а) меню “Режими”, б) меню “Сервоприводи”

ВИСНОВКИ

У рамках виконаної роботи описано проблеми, з якими стикаються FPV дрони під час експлуатації, а також запропоновано рішення у вигляді системи автоматизованої фіксації камери. Впровадження стабілізації камери значно покращує можливості використання безпілотних літальних апаратів як для бойових, так і для цивільних завдань. Завдяки системі автоматизованої фіксації камери вдалося значно розширити кут огляду дрона, що дозволяє ефективніше ідентифікувати цілі, а також підвищити ефективність і безпеку польотів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Singhal, G.; Bansod, B.; Mathew, L. Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications and Challenges: A Review. Preprints 2018, 2018110601. – Режим доступу:<https://doi.org/10.20944/preprints201811.0601.v1>
- [2]Peksa, J.; Mamchur, D. A Review on the State of the Art in Copter Drones and Flight Control Systems. Sensors 2024, 24, 3349. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/s24113349>
- [3]ARJOMANDI, Maziar, et al. Classification of unmanned aerial vehicles. Report for Mechanical Engineering class, University of Adelaide, Adelaide, Australia, 2006, 1-48.
- [4]Aviatsiya Halychyny [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.aviatsiyahalychyny.com/blog/rozbyraemos-iaak-pratsiuiut-fpv-drony/>
- [5]DOU [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dou.ua/forums/topic/49869/>
- [6]BetaFlight [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://betaflight.com>

Наук. керівник – к.т.н., доц. Безугла Н.В.

UDC 681.5

D.Yu. Tyzhuk, student of group PB-31mp, PhD, Assoc. Prof. M.V. Filippova
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

CONTROL SYSTEM OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR CABLE PRODUCTION

Abstract. A control system for the technological process of cable production has been developed. The system is based on the ESP 32 microcontroller, which provides the necessary functionality for controlling the cable production process, enhancing productivity, and improving the quality of the technological process. A control system model was created in MATLAB/Simulink for the cable unwinding and winding sections. Two types of regulators were utilized in the model: a fuzzy logic controller and a PID regulator. The modeling results showed that the fuzzy logic controller demonstrated better regulation performance due to smoother characteristics and reduced overshooting.

Keywords: extrusion, PID regulator, fuzzy logic controller, electrical cable, modeling

INTRODUCTION

Due to their wide application, electrical cables are manufactured globally. These cables are produced from fire-resistant materials, resistant to electrical currents, thermal effects, oil, water, and other factors. Essentially, a conductor is a broad term for a wire that lacks insulation or covering, while a wire is a single conductor typically made of copper or aluminum. Similar to wires, cables are assemblies of two or more conductors, either solid or stranded, twisted, wrapped, or otherwise bound together, with or without insulation, and used for transmitting electrical or telecommunication signals.

Electrical cables are vital as they form the backbone of modern infrastructure, enabling the transmission of electrical signals that power devices and systems. Without electrical cables, access to electricity would be impractical, significantly diminishing the quality of life. To produce durable, efficient, and high-quality cables, various manufacturing technologies are required. For achieving high-quality cable products, it is essential to properly control the production parameters, which underscores the relevance of developing a control system for the cable production process.

MAIN SECTION

In cable manufacturing, an essential operation is the application of insulation to the conductor, which requires mandatory control of wire speed and tension as it passes through the extruder. Variations in speed lead to uneven insulation application, resulting in thicker insulation in some areas and thinner in others. Such wires exhibit inconsistent protective properties along their length, causing defects. Therefore, controlling cable movement speed during the extrusion insulation process is a crucial technical task that can improve productivity, enhance product quality, and reduce defects.

The primary parameter that needs to be controlled is the linear speed of the wire in the extrusion line. The cable speed is regulated by three electric drives: unwinding, pulling, and winding. The first drive unwinds the wire from the source reel and transports it to the extruder. The pulling drive draws the wire through the extruder for cooling. Finally, the winding drive coils the finished cable onto the receiving reel.

The production process occurs at high speeds, and inaccuracies in the regulation of electric drive speeds can significantly degrade product quality. Thus, the

electric motors must synchronize their speeds to ensure consistent insulation thickness. During the process, active real-time control is necessary with regulators that maintain a stable line speed.

In cable production, DC drives are used for the pulling section, while asynchronous machines are employed for the unwinding and winding sections. Additionally, some production systems may use servo drives.

The insulation process parameters are controlled through the management of two electric drives in the pulling and winding systems [4]. The control scheme is shown in Figure 1

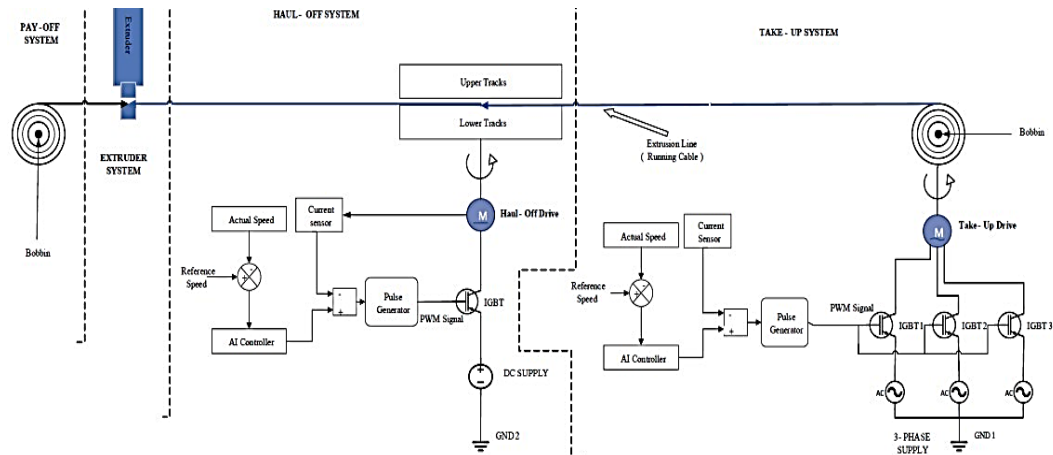


Figure 1. Functional diagram of the extrusion line control system

The system's operation was modeled using the MATLAB Simulink software package. The model was developed for the DC motor drives of the pulling system and the asynchronous drives of the winding system. PID regulators and fuzzy logic controllers were used to simulate the system's operation. The two regulation approaches were compared to achieve better quality speed control.

The control system model for the pulling line using a PID regulator is shown in Figure 2. The specified parameters included a speed of 60 m/min and a torque of 25 N·m.

The control system model for the winding line using a PID regulator is presented in Figure 3. For tuning the regulator parameters for the pulling and winding lines, the MATLAB/Simulink/Autotuning utility was used.

As an alternative approach, the control system was modeled using a fuzzy logic controller. Such controllers demonstrate superior control quality compared to classical PID regulators because they do not discretize signals, enabling more flexible control.

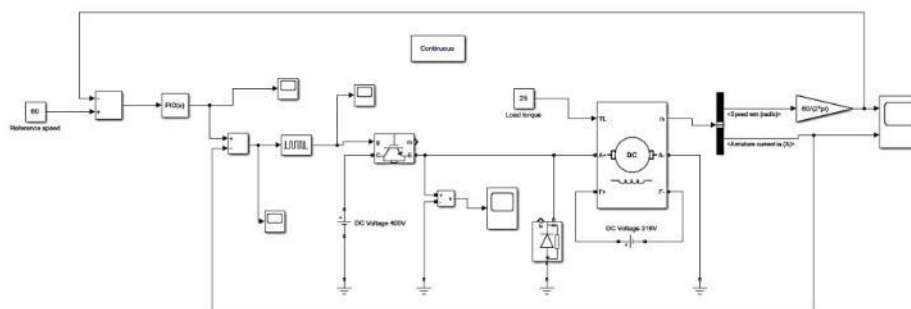


Figure 2. Control system model for the pulling line with a PID regulator

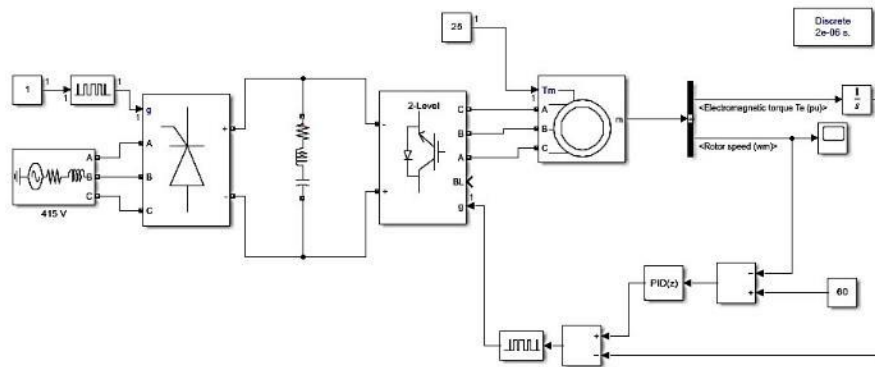


Figure 3. Control system model for the winding line with a PID regulator

To configure the fuzzy logic controller, variable fuzzification was required. The control algorithm implementation utilized 49 rules. After configuring the fuzzy logic controller, a control system model was developed for the motor speed of the pulling and winding systems (Figure 4).

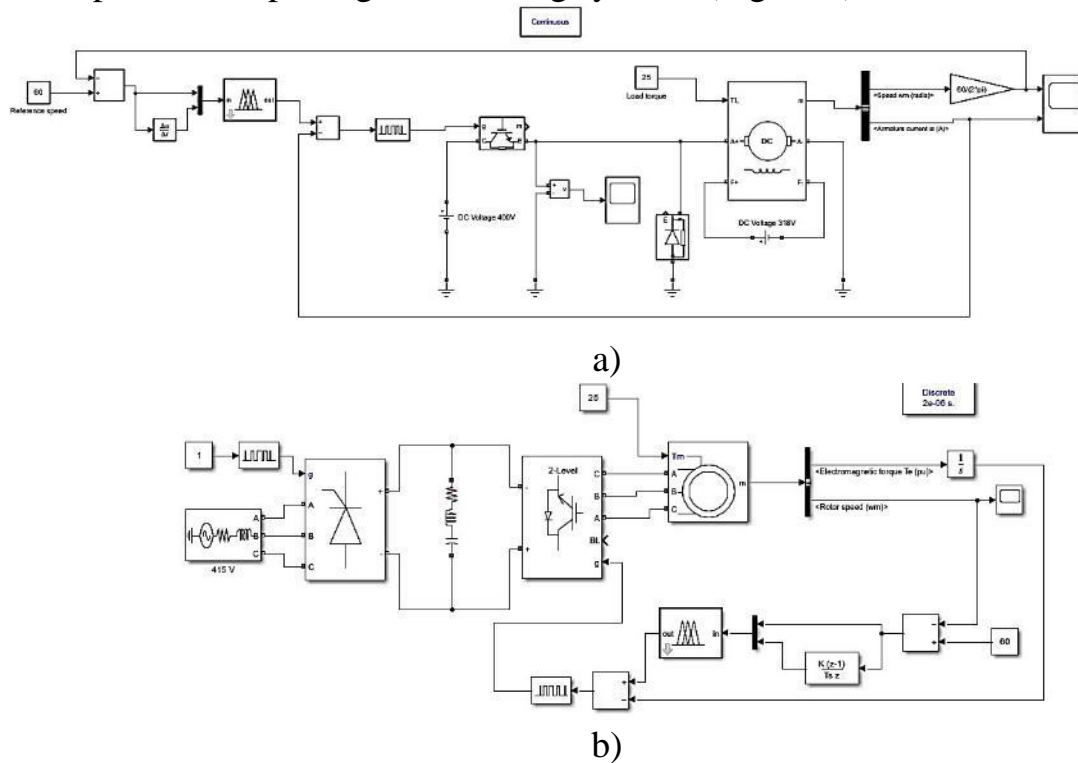
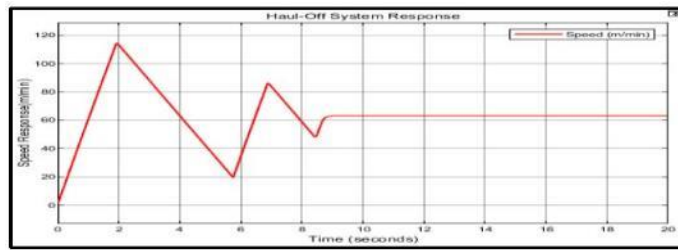


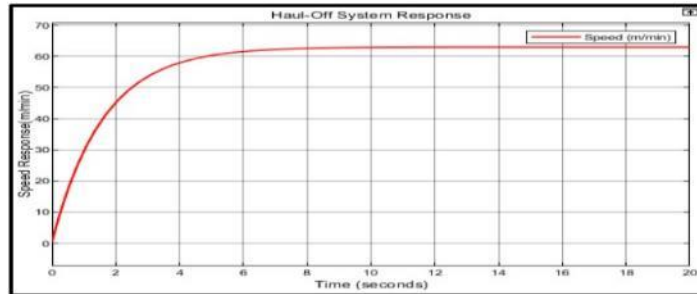
Figure 4. Control system model using a fuzzy logic controller: a) for the pulling line; b) for the winding line

The modeling results produced transient process graphs for the control system under changing technological parameters in the line. The transient process graphs for the pulling section are shown in Figure 5, and for the winding section in Figure 6.

During regulation, the rise time for the pulling section with the PID regulator was 0.216 seconds, while for the fuzzy logic controller it was 3.34 seconds. However, the overshoot was 71.5% for the former and only 7.4% for the latter. Additionally, the fuzzy logic controller had a shorter settling time (7.4 seconds) compared to the PID regulator (8.8 seconds) and exhibited smoother characteristics. Therefore, the use of a fuzzy logic controller for the pulling line is more advisable

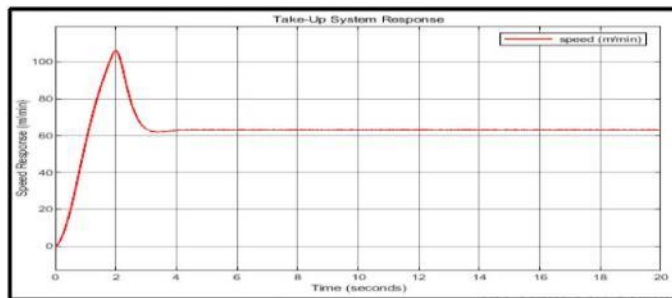


a)

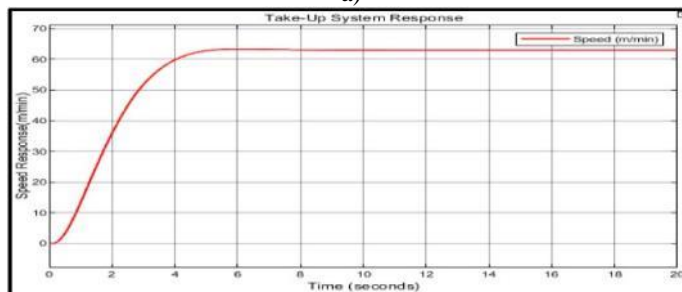


b)

Figure 5. Transient process graphs for the control system of the pulling section: a) with a PID regulator; b) with a fuzzy logic controller



a)



b)

Figure 6. Transient process graphs for the control system of the winding section: a) with a PID regulator; b) with a fuzzy logic controller

As shown in Figure 6, the fuzzy logic controller had a longer settling time (5.8 seconds) compared to the PID regulator (4.7 seconds) for the winding line. However, it exhibited less overshoot—4.7% compared to 56.6%. Based on these observations, the fuzzy logic controller is also recommended for the winding line. In our opinion, smoother regulation without overshooting is more desirable for improving the quality of cable products.

CONCLUSIONS

A control system for the technological process of cable production has been developed. The system is based on the ESP 32 microcontroller, which provides the

necessary functionality for managing the cable production process, enhancing productivity, and improving the quality of the technological process. A control system model was created in MATLAB/Simulink for the pulling and winding sections of electrical cables. The model utilized two types of control devices: a fuzzy logic controller and a PID regulator. The modeling results showed that the fuzzy logic controller demonstrated better regulation performance due to smoother characteristics and reduced overshooting.

REFERENCES

- [1] Vanja Kosar, Z. Gomzi. Modeling of the power cable production line. *Thermochimica Acta* 457(1). 2007. P. 70-82. DOI: 10.1016/j.tca.2007.02.020.
- [2] Mustafa Severengiz, Tobias Sprenger, Günther Seliger. Challenges and Approaches for a Continuous Cable Production. *Procedia CIRP* 40. 2016. p. 18 – 23.
- [3] Ayokunle Adesanya, Ademola Abdulkareem, Lambe Mutalub Adesina. Predicting extrusion process parameters in Nigeria cable manufacturing industry using artificial neural network. *Heliyon*. Volume 6. Issue 7. 2020. e04289. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04289>.
- [4] Robert Agyare Ofosu, E. Normanyo, N. Abdul-Aziz, S. S. Stickings. Speed Control of an Electrical Cable Extrusion Process Using Artificial Intelligence-Based Technique. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*. 2023. Vol. 12. No. 1. DOI: 10.25077/jnte.v12n1.1045.2023.

Scientific Supervisor – PhD, Assoc. Prof. M.V. Filippova

УДК 616-71:612.7

А.І. Турик, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Вонсевич К.П.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ЧАСОВОГО АНАЛІЗУ ФОРС-МІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ

Анотація: У роботі розглянуто особливості розробки та реалізації багатоканального модулю для часового аналізу форс-міографічних сигналів з метою подальшого застосування у складі біонічного протезу верхньої кінцівки. Зокрема, визначено основні методи вимірювання міографічних сигналів, особливості визначення їх значущих характеристик, типові сенсори та електронні компоненти для побудови вимірювальних схем, методи машинної класифікації FMG сигналів. Представлено функціональну схему модулю, практичну реалізацію її електричної схеми та розроблене програмне забезпечення для візуалізації, збереження інформації та автоматизованого розрахунку часових характеристик для здійснення подальшої класифікації рухів руки.

Ключові слова: форс-міографія, аналіз сигналів, біонічне протезування, часові характеристики, машинне навчання.

ВСТУП

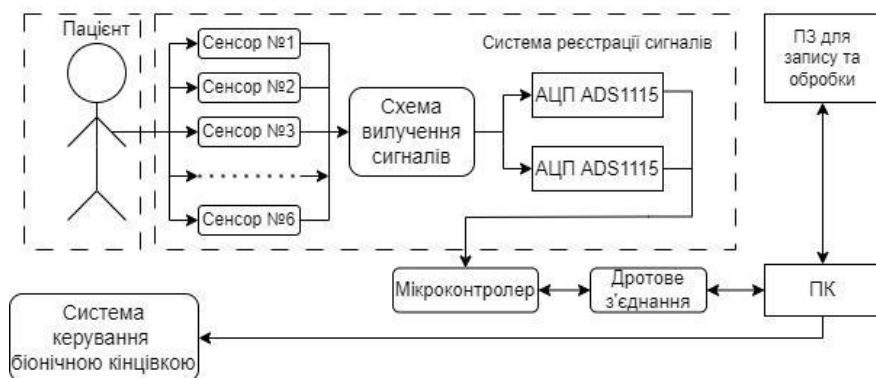
У сучасному світі технології носимої електроніки та машинного навчання розвиваються з високою швидкістю, відкриваючи перед розробниками нові можливості у сфері медичної діагностики та реабілітації. Наприклад, вимірювання міографічних сигналів, що виникають внаслідок зміни активності та скорочення відповідних м'язів кінцівок, надають необхідну інформацію про їх можливий стан і функціонування. Аналіз цих сигналів дозволяє виявляти потенційно-можливі аномалії та проводити ефективний контроль під час реабілітаційних процесів. Одним із ключових напрямків де можуть застосовуватись подібні технічні рішення є також і сфера біонічного протезування кінцівок. Тут використання міографічних сигналів має велике значення як для моніторингу стану кінцівки, так і для аналізу м'язової активності з метою реалізації комплексного алгоритму керування виконавчими механізмами роботизованого протезного пристрою. Однак, через складну природу виникнення і пост-обробки міографічних сигналів, все ще досить часто виникає необхідність у розробці спеціалізованих пристроїв для вимірювання та подальшого аналізу такої біологічної інформації, зокрема методами часового чи частотного аналізу. Для проведення точних та швидких вимірювань вкупі з подальшим аналізом сигналів подібні пристрої повинні містити сенсори на м'язах кінцівки пацієнта, підсилювальну схему, методологічний та математичний апарат для дослідження міосигналів, а також програмне забезпечення для оцінювання і класифікації даних відповідно до рухів кінцівки.

У цій роботі авторами представлено особливості розробки прототипу багатоканального комп'ютерно-інтегрованого модулю для часового аналізу форс-міографічних сигналів передпліччя людини та його програмного забезпечення.

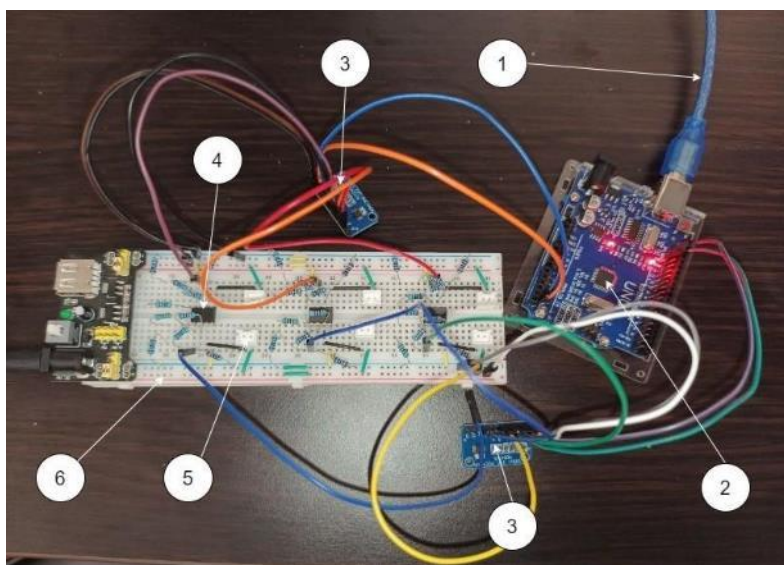
ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ФОРС-МІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ ТА РОЗРОБЛЕНЕ ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ

Як правило, для вимірювання активності м'язів кінцівки у практиці протезування використовують метод поверхневої електроміографії (sEMG) із застосуванням поверхневих гелевих чи сухих електродів [1]. Однак, такий метод

дослідження має як набір переваг, так і свій набір обмежень, зокрема пов'язаних з впливом навколишніх шумів на результуючий сигнал, чутливістю до пiтливості кінцівки, необхідності попередньої підготовки шкіряного покриву, перехресними перешкодами від сусідніх м'язів у складі сигналу, тощо. Відносно новою альтернативою методу sEMG є так-звана “силова”, або форс-міографія (FMG). Це техніка вимірювання м'язової активності, що передбачає використання масиву ємнісно-оптичних, п'єзоелектричних, пневматичних чи тензочутливих гнучких резисторів (FSR) для виявлення змін в об'ємі м'язово – сухожильного комплексу певної частини кінцівки [2].



а)



б)

Рисунок 1. Функціональна схема модулю та її практична реалізація. а) Функціональна схема; б) Вимірювальна схема КІМ: 1) Зовнішній канал зв'язку; 2) Плата Arduino UNO; 3) АЦП ADS1115; 4) Операційний підсилювач LM358N; 5) Порт для сенсора RP-L-110; 6) Макетна плата

Як правило, більшість FMG-сенсорів засновані на технології застосування резистивної полімерної плівки (RPTF) конфігурованої у вигляді матриці, або набору окремих тензо-чутливих робочих зон певної величини. При цьому масив датчиків FMG зазвичай розміщується над м'язами дистального відділу передпліччя, біля зап'ястя або комбіновано, в позиції над дистальним та середнім

(відносно довжини передпліччя) положенням [3].

Загальний принцип роботи розробленого авторами модуля можна пояснити за допомогою функціональної схеми на рис. 1а. Як видно з рисунку, електрична схема модулю передбачає підключення набору із шести гнучких тензочутливих FSR-сенсорів типу RP-L-110, каскад підсилення вимірних сигналів на основі ОП LM358, два 16-ти бітні АЦП ADS1115, плату керування представлену мікроконтролером серії AVR, USB перетворювач для передачі інформації до програмного забезпечення на ПК, а також паралельний канал передачі інформації до системи керування біонічної кінцівки. Практичну реалізацію шестиканальної вимірювальної схеми для комп'ютерно-інтегрованого модулю (KIM), виконану на макетній платі представлено на рис. 1б. Варто зазначити, що представлена на рис. 1б вимірювальна схема в подальшому буде виготовлена на стаціонарній друкованій платі зі значно меншими габаритними розмірами, а реалізація її у вигляді компоновки на макетній платі виконувалась для практичного тестування і визначення оптимального набору електронних складових компонентів. Згідно з методом FMG, для подальшого часового аналізу отриманих результатів, визначається величина часового вікна для однієї ітерації, а також набір сигнальних ознак (TDF-характеристик), які в подальшому подаються як класифікаційні параметри для одного із алгоритмів машинного навчання [4]. При цьому, величина часового вікна зазвичай коливається від 30 до 300 мс, а серед основних сигнальних ознак виділяють середнє абсолютне значення функції (MAV), дисперсію (VAR), стандартне відхилення (STDEV), середню девіацію (MAD), тощо.

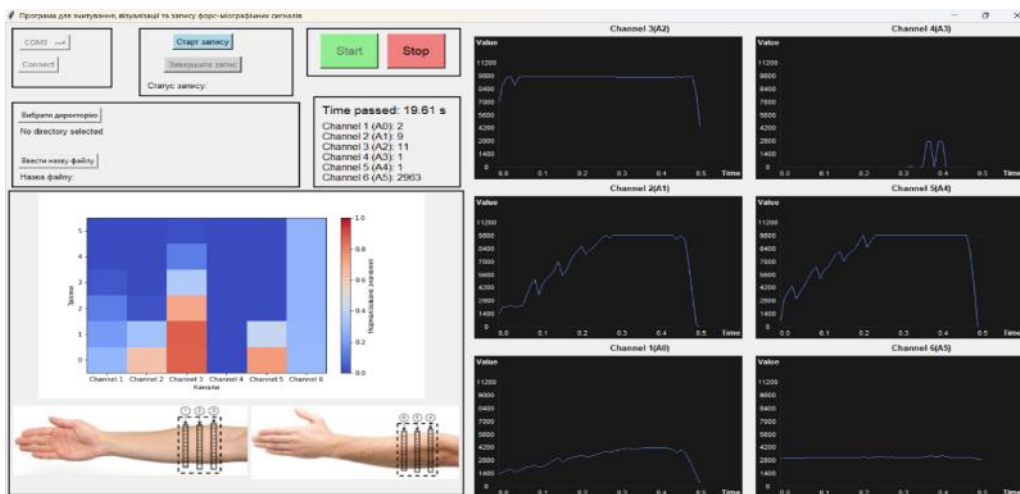


Рисунок 2. Інтерфейс розробленого ПЗ для вимірювання, візуалізації та запису форміографічних сигналів

Найбільш поширеними методами машинної класифікації, що застосовуються у практиці FMG-досліджень є визначення опорної векторної регресії (SVR), метод опорних векторів (SVM), штучних нейронних мереж (ANN) та інші. З метою візуалізації набору вимірних FMG сигналів, здійснення подальшого автоматизованого розрахунку TDF-характеристик, а також проведення машинної класифікації відповідних рухів кінцівки авторами було розроблено програмне забезпечення KIM, робоче середовище якого

представлено на рис. 2. Варто зазначити що створене програмне забезпечення дозволяє здійснювати керування інформацією отриманою з вимірювального модуля та виконувати візуалізацію результатів у режимі реального часу за допомогою набору графіків і теплової мапи, а також виконує збереження числових значень сигналів у середовищі Microsoft Excel для їх подальшої обробки нейронною мережею.

ВИСНОВКИ

У роботі було представлено особливості розробки комп'ютерно-інтегрованого модуля для вимірювання і часового аналізу форс-міографічних сигналів та його програмне забезпечення. Зокрема, було розглянуто ключові методи реєстрації та обробки міографічних сигналів тіла людини, їх обмеження та особливості розрахунку значущих характеристик. Визначено методи машинної класифікації FMG сигналів, розглянуто типові сенсори, що застосовуються у подібній вимірювальній апаратурі. Запропоновано функціональну схему шестиканального модуля, на основі якої було реалізовано макет електричної схеми для попереднього тестування та подальшого виготовлення друкованої плати вимірювального пристрою. Також, було створене програмне забезпечення модулю на базі мови програмування Python, що дозволяє проводити швидке оцінювання отриманих результатів в режимі реального часу та оперативно записувати дані в файл для розрахунку часових характеристик. В подальших дослідженнях планується використання вимірювальної схеми та розробленого програмного забезпечення модулю сумісно з моделлю ANN, для проведення машинної класифікації форс-міографічних сигналів з метою керування біонічним протезом верхньої кінцівки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Cho E, Chen R, Merhi L-K, Xiao Z, Pousett B and Menon C (2016) Force Myography to Control Robotic Upper Extremity Prostheses: A Feasibility Study. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 4:18. doi: 10.3389/fbioe.2016.00018
- [2] Sherif, O., Bassuoni, M. M., & Mehrez, O. (2024). A survey on the state of the art of force myography technique (FMG): analysis and assessment. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 1-20.
- [3] Li X, Zheng Y, Liu Y, Tian L, Fang P, Cao J and Li G (2022) A Novel Motion Recognition Method Based on Force Myography of Dynamic Muscle Contractions. *Front. Neurosci.* 15:783539. doi: 10.3389/fnins.2021.783539
- [4] 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

Наук. керівник – к.т.н., доц. Вонсевич К.П.

УДК 004.62: 005.93

О.В. Філіпов, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., ас. Демченко М.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ

Анотація. Зростаюча нестабільність у виробництві та зростаючі вимоги до сталого розвитку вимагають більш ефективних процесів у виробництві. Особливо це пов'язано з кваліфікаціями працівників та інженерів під час розробки та налаштування технологічного процесу виробництва. Одним із можливих рішень є використання цифрових двійників, що може прискорити інженерні процеси і зберегти цінні ресурси. Для вирішення цих завдань необхідно визначити перспективні підходи до використання цифрового двійника та віртуального введення його в експлуатацію. Крім того, важливо створити середовище, у якому ці підходи можна оптимально досліджувати. Важливим є підходи до розробки процесу складання та виробничої системи з цифровим двійником, розробленим для вивчення цих аспектів. В роботі розглянуті основні компоненти та складові частини реалізації цифрового двійника та їх функціонування. Представлена система є взаємопов'язаною виробничою системою для складання реального промислового продукту. Він включає різні рівні взаємодії людини з роботом і автоматизації, які можуть бути реалізовані віртуально в цифровому двійнику.

Ключові слова: виробництво, технологічний процес, моделювання, цифровий двійник, digital twins.

ВСТУП

З розвитком цифрових технологій Індустрії 4.0, концепція цифрового двійника привернула до себе велику увагу світу та швидко знайшла використання як інноваційний підхід. Ідея цифрового двійника вперше була запропонована як набір віртуальних інформаційних конструкцій, які повністю описують потенційний або фактичний фізичний виготовлений продукт. Для досягнення цієї мети фундаментальними питаннями стають моделювання цифрового двійника та встановлення зв'язків між моделлю цифрового двійника та фізичним світом.

Більшість промислових підприємств прагне освоєння технологій з концепції Індустрії 4.0, а також перетворення і організації процесів всередині, як це описано в концепції розумного виробництва. Одна з фундаментальних моделей концепції "Індустрія 4.0" - це модель еталонної архітектури RAMI4.0. Ця модель була покликана вирішити проблему різноманітності та неузгодженості інформаційних моделей на підприємствах після появи концепції Індустрії 4.0 [1]. Дана модель еталонної архітектури містить 3 осі: осі життєвого циклу виробу (горизонтальна ліва вісь), осі функціональної ієрархії (горизонтальна права вісь) і осі шарів ІТ-архітектури (вертикальна вісь). На осі життєвого циклу відображається актив у певний час протягом життєвого циклу. На осі функціональної ієрархії розглядаються функціональні моделі для певних рівнів. На осі шарів ІТ-архітектури виділяються шари у відповідність до багат шарової структури систем, що відображає специфічні функції активів.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

У науковій літературі розглядаються концептуальні схеми для побудови цифрових двійників (ЦД), що мають різні підходи до виділення основних елементів ЦД, а також кількість рівнів, що виділяються у відповідність до багаторівневої еталонної архітектури підприємств. У роботі з дослідження існуючих архітектурних підходів щодо створення ЦД виділяють 3х, 4х, 5ти, 6ти - шарові архітектури [2].

У трирівневій архітектурі, запропонованій компанією Siemens Corporate

Technology для кіберфізичних систем були виділені основні елементи: фізичний світ, за яким здійснюється спостереження за допомогою обладнання, такого як датчики, що передають інформацію в кіберсвіт, з кіберміра здійснюється вплив на фізичний світ через обладнання, що виконує [1].

У чотирьохрівневій архітектурі, представленій у роботі китайських вчених, присвяченій підходу розробки цифрових двійників в інтелектуальному виробничому середовищі, виділяються такі верстви: фізичний рівень, рівень вилучення та консолідації даних, рівень кіберпростору та рівень взаємодії [2]. Фізичний рівень включає всі фізичні елементи в їх робочому середовищі. Рівень вилучення та консолідації даних служить інтерфейсом між фізичним рівнем та рівнем кіберпростору за допомогою оцифрування, передачі та прийому даних. Рівень кіберпростору становить суть цієї структури та є рівнем, на якому ЦД існує та здійснює контроль над усією інфраструктурою. Останній рівень – це рівень взаємодії з користувачем, який представляє користувачам реалізовану мету ЦД – повсюдний моніторинг та управління.

У прагненні досягти успіху в складанні нестандартних конструкцій, дедалі очевиднішою стає необхідність прийняття інтегрованої парадигми моделювання структури та процесів [3]. Ці конструкції вимагають комплексного підходу, що виходить за межі традиційних методологій. Це пов'язано з тим, що процес складання є не просто фізичним процесом інтеграції компонентів, він представляє собою синтез складних аспектів проектування, структурної цілісності та логістичної ефективності [4]. Тому це вимагає злагодженої взаємодії між фізичним і цифровим світом, де матеріальна реальність поєднується з віртуальною.

РЕЗУЛЬТИТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Побудову цифрового двійника для складання виробів можна відобразити через дворівневе відображення. На нижньому рівні це буде включати відображення фізичної моделі на цифрове представлення обладнання, тоді як на верхньому рівні відображується реальний процес складання в цифрове представлення. Відображення на нижньому рівні усуває необхідність фізичного створення моделі обладнання, водночас спрощуючи аналіз раціональності конструкції та прогнозування її роботи. Відображення на верхньому рівні дозволяє планувати, перевіряти та оцінювати процеси складання обладнання.

Модель конструкції обладнання та процес складання, створені на основі ЦД, визначаються як модель складання на основі ЦД для виробів (ЦД-В). ЦД-В поділяється на дві підмоделі: модель об'єкта складання на основі ЦД (ЦД-ОС) та модель процесу складання на основі ЦД (ЦД-ПС). ЦД-ОС включає моделі компонентів та відповідну інформацію для кожного етапу складання, а ЦД-ПС складається з плану процесу складання, включаючи послідовність складання, шлях складання та результати аналізу симуляції процесу складання.

ЦД-В відіграє ключову роль у зборі, обробці та аналізі інформації, пов'язаної зі складанням конструкцій, через різні фізичні поля, розміри та рівні деталізації протягом усього процесу складання. Це дозволяє оцінювати, моделювати та прогнозувати моделі та процеси складання, зрештою досягаючи

мети узгодження реальних і віртуальних аспектів складних процесів складання [5]. Це забезпечує точність та раціональність реального процесу складання, сприяючи підвищенню точності складання та контролю процесу.

Для складання ЦД-ОС повинна охоплювати весь процес складання, забезпечуючи підтримку спільного проектування процесу та дозволяючи провести комплексний аналіз характеристик глобальної моделі. ЦД-ОС включає дані, починаючи від окремих компонентів і підсистем до всієї конструкції, що збирається, надаючи багаторівневий погляд на процес складання. Особливістю цієї моделі для виробів є інтеграція фактичних вимірюваних даних конструкцій, таких як інформація про модель хмари точок. Це поєднання загальнозживаних моделей САПР (CAD) і даних реальних вимірів забезпечує точність оцінки конструкцій та дозволяє проводити геометричні симуляції з високою точністю для різних сценаріїв складання [5].

У контексті дискретного складання конструкцій, ЦД-ПС виступає незамінним мостом між цифровим і фізичним світами. Вона гармонізує інформацію моделі процесу, що базується на визначенні (Model-Based Definition), з даними процесу складання в режимі реального часу, отриманими з місця складання. Тут виникає унікальний виклик: масштаб і складність великих конструкцій вимагають детального поділу ЦД-ПС на дві ключові компоненти — модель складання в процесі (МСП) і дані процесу складання (СДП). Взаємозв'язок між ЦД-ПС, МСП та СДП можна представити наступним чином:

$$\text{ЦД-ПС} := \{\text{МСП}, \text{СДП}\} \quad (1)$$

МСП включає модель процесу складання для поточного завершеного складання та моделі деталей, які будуть зібрані в наступних кроках процесу. МСП ініціалізується на основі деталей, задіяних у першому процесі складання, і розвивається поетапно в міру просування фактичного процесу складання, доки не будуть завершені всі етапи. Еволюція МСП може бути виражена наступним чином:

$$\text{МСП}_i = \text{МСП}_{i-1} \cup \sum_{k=1}^n P(i, k) \quad (2)$$

де i позначає i -й процес складання, k позначає поточний крок складання в процесі, n представляє загальну кількість кроків для i -го процесу, а P означає деталі, зібрані на поточному етапі.

СДП включає всю інформацію процесу складання, яка вводиться в реальний процес складання, і складається з інформації про процес складання «як зібрано» (СДПС) і попередньо запланованої інформації про процес складання (СДПІ). Очевидно, що СДПС є оновленою версією СДПІ на основі фактичної ситуації складання, і сприяє створенню системи оптимізованого процесу складання продукту з зворотним зв'язком. Ця динамічна інтеграція даних є важливою для створення системи оптимізованого процесу складання. Таким чином, СДП визначається як колекція СДПІ та СДПС, а її правило відображення (ПВ) між фізичним і віртуальним просторами можна представити наступним чином:

$$\text{СДП} := \{\text{СДПІ}, \text{СДПС}, \text{ПВ}\} \quad (3)$$

У сфері складання виробів ЦД-ПС бере на себе вирішальну роль цифрового представлення, що ретельно відображає фактичний процес складання структури виробів. Він охоплює повну інформацію про процес для кожного етапу складання, виконуючи основні функції, такі планування протягом усього процесу складання.

ВИСНОВКИ

Протягом всього процесу, від фази проектування до виконання складання, інформація ЦД-ПС проходить окремі етапи, охоплюючи проектування та оптимізацію процесу, виконання процесу та зворотний зв'язок з місцем складання. На кожному етапі відповідна інформація про модель процесу зазнає ітераційних оновлень, кульмінацією яких є повний збір інформації ЦД-ПС.

Структура технічної реалізації складається з двох основних компонентів: цифровий простір складання та фізичний простір складання. У просторі цифрового складання ресурси ЦД-ПС, алгоритми, керовані даними, інтелектуальні методи та технології, що керуються знаннями, використовуються для планування, моделювання, прогнозування та оптимізації процесу складання. Інформацію та дані моделі, що постійно змінюються, можна обґрунтувати та оновити шляхом інтеграції параметрів моделі, операційних даних і результатів прийняття рішень, що забезпечує самооновлення, самокоригування та саморозвиток моделі ЦД.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Qi, Q. & Tao, F. (2018) Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison. *IEEE Access*, 6, 3585–3593. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2793265>
- [2] Barbieri, G.; Bertuzzi, A.; Capriotti, A.; Ragazzini, L.; Gutierrez, D.; Negri, E.; Fumagalli, L. (2021). A virtual commissioning based methodology to integrate digital twins into manufacturing systems. *Prod. Eng. Res. Dev.*, 15, 397–412. <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01037-3>
- [3] Вислоух С.П. Інформаційні основи проектування технології механоскладальних робіт в приладобудуванні / С.П. Вислоух, М.В. Філіппова // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2004. – № 28. – С.139-144.
- [4] Вислоух С.П. Методика автоматизованого проектування технології складання виробів приладобудування / С.П. Вислоух, М.В. Філіппова // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування». – 2006. – С. 111-117.
- [5] Філіппова, М.В. Використання цифрового двійника для складального виробництва / М.В. Філіппова, М.О. Демченко, О.В. Філіппов, С.С. Заєць // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2024.- № 335 (3(1)). – С. 202-208. DOI: <https://doi.org/10.31891//2307-5732-2024-335-3-28>

Наук. керівник – к.т.н., ас. Демченко М.О.

УДК 631.362:004.896

О.І. Цомпель¹, студ. гр. ПБ-41мп, д.т.н., проф. Безуглий М.О.¹, Кравченко І. М.²
¹КПІ ім. Ігоря Сікорського, ²ДП “КІЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ”

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ПРОПОЛКИ БУР'ЯНІВ

Анотація. Автоматизація сільськогосподарських процесів, зокрема видалення бур'янів, є важливим завданням для підвищення продуктивності та зниження витрат. У статті розглядається проєкт створення автономного робота для прополки, який використовує сучасні технології GPS, технічного зору та нейронних мереж. Описано основні компоненти системи: модуль керування, що відповідає за позиціонування і зв'язок, систему технічного зору для ідентифікації бур'янів, модуль руху для маневровості та модуль прополочного механізму для видалення бур'янів.

Алгоритм роботи робота включає ініціалізацію, переміщення до цільових зон, аналіз зображень для ідентифікації бур'янів, їх видалення та контроль енергоживлення. Система забезпечує автономну і високоточну обробку сільськогосподарських ділянок, знижує використання хімічних засобів і оптимізує витрати праці.

Ключові слова: автоматизація, прополка, технічний зір, GPS, нейронна мережа.

ВСТУП

Сучасне сільське господарство дедалі більше орієнтується на автоматизацію як засіб підвищення продуктивності та зниження витрат. Автоматизовані системи здатні значно полегшити догляд за посівами, зокрема виконуючи завдання селективного видалення бур'янів, що дозволяє зменшити використання хімічних засобів, таких як гербіциди, і забезпечити екологічну безпеку. Одним із перспективних напрямків у цій сфері є створення автономних роботів для прополки, які працюють на основі сучасних технологій, таких як GPS-навігація, нейронні мережі та технічний зір.

Запропонована система інтегрує кілька модулів, які виконують функції керування, навігації, технічного зору, руху, прополки та енергозабезпечення. Вона здатна працювати автономно, виконуючи повний цикл дій: від отримання координат цільової зони до видалення бур'янів і повернення на базу. Структурна схема системи, представлена на рисунку 1, ілюструє взаємодію всіх компонентів.

МЕТА РОБОТИ

Розробка автономної системи для автоматизованого видалення бур'янів, яка інтегрує сучасні технології GPS-навігації, технічного зору та нейронних мереж, забезпечуючи високу ефективність, екологічність та автономність сільськогосподарських операцій.

ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ

Автоматизована система для прополки бур'янів складається з кількох ключових модулів, кожен із яких виконує специфічні завдання. Модуль керування інтегрує GPS-датчик, модуль зв'язку та центральну плату керування. GPS-датчик дозволяє точно визначати позицію системи на полі, забезпечуючи навігацію до цільових зон. Модуль зв'язку забезпечує передачу даних між системою та віддаленим користувачем, що дозволяє здійснювати дистанційне налаштування параметрів і контроль роботи. Центральна плата керування синхронізує роботу всіх модулів, обробляючи дані від датчиків і приймаючи рішення щодо виконання завдань.

Система технічного зору складається з камери високої роздільної здатності

та джерел освітлення, які забезпечують надійний збір зображень незалежно від умов освітлення. Зібрані зображення аналізуються за допомогою нейронної мережі, яка розпізнає бур'яни та визначає їхнє місцезнаходження. Це дозволяє системі виконувати селективну прополку, зберігаючи культурні рослини неушкодженими.

Модуль руху включає електричні мотори, драйвери для їх керування та динамічну колісну базу, яка може адаптуватися до ширини міжрядь і умов рельєфу. Завдяки цьому модуль забезпечує високу маневровість і стабільність руху навіть на складних ділянках поля.

Механізм прополки являє собою пристрій для фізичного видалення бур'янів, який включає мотор і спеціалізований механізм викидання. На основі сигналів від системи технічного зору механізм точно позиціонується над виявленими бур'янами і виконує їхнє видалення, мінімізуючи вплив на навколишній ґрунт.

Блок живлення складається з акумуляторів, модуля зарядки та модуля захисту. Акумулятори забезпечують стабільну роботу всіх компонентів системи, навіть за тривалого часу автономної роботи. Модуль зарядки дозволяє оперативно відновлювати рівень енергії, тоді як модуль захисту оберігає батареї від перевантажень та перегріву.

Структурна схема автоматизованої системи для прополки бур'янів представлена на рисунку 1.

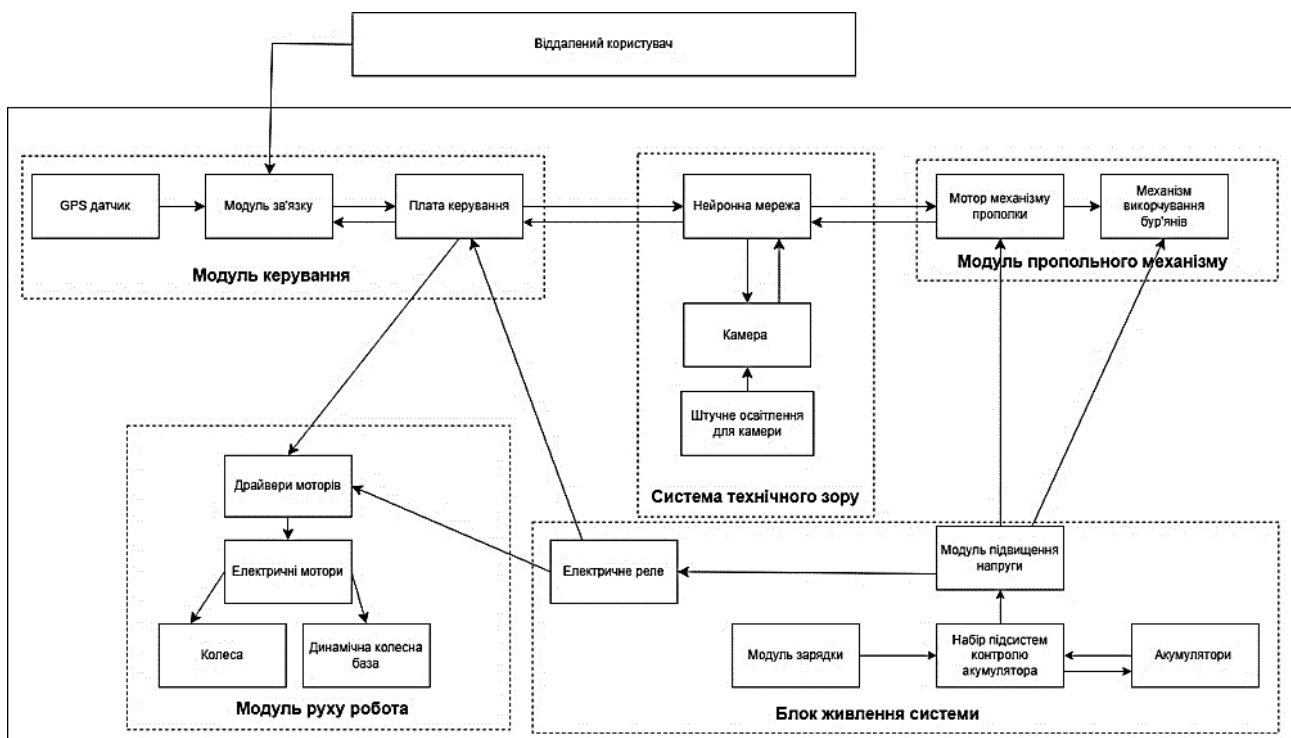


Рисунок 1. Структурна схема автоматизованої системи для прополки бур'янів

АЛГОРИТМ РОБОТИ

Алгоритм роботи системи охоплює всі етапи її функціонування, починаючи з ініціалізації модулів і закінчуючи завершенням обробки цільових зон. Після запуску система проходить ініціалізацію, активуючи всі модулі, включаючи

GPS, камеру, живлення та контролер. Далі отримуються координати цільової зони від користувача через модуль зв'язку. Використовуючи GPS-дані, система переміщується до визначеної зони, враховуючи рельєф і перешкоди.

Після досягнення цільової зони камера та система технічного зору виконують аналіз зображень для ідентифікації бур'янів. Якщо бур'яни виявлено, механізм прополки активується та видаляє їх із ґрунту. Після завершення роботи в одній зоні система оновлює свою позицію і переходить до наступної зони.

Рівень заряду акумулятора постійно контролюється. Якщо заряд падає нижче допустимого рівня, система автоматично повертається на базу для підзарядки. Після завершення обробки всіх цільових зон система переходить у режим очікування нових команд. Алгоритм роботи системи ілюструється на рисунку 2.



Рисунок 2. Алгоритм роботи автоматизованої системи для прополки бур'янів

ВИСНОВКИ

Розроблена система для прополки бур'янів забезпечує ефективну автоматизацію сільськогосподарських процесів, скорочує використання гербіцидів і мінімізує людські витрати. Застосування сучасних технологій GPS, технічного зору та нейронних мереж дозволяє досягти високої точності в обробці полів. Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію алгоритмів аналізу зображень, покращення енергоефективності та розширення функціональних можливостей системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Іваненко, А.І. Автоматизовані системи управління: навчальний посібник. – Київ: КПІ, 2020.
- [2] Сидоренко, Б.В. Математичне моделювання процесів керування в робототехніці. – Київ: Либідь, 2019.
- [3] Гончаров, В.О. Технічне зір і нейронні мережі в робототехніці: підручник. – Харків: Фоліо, 2021.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Безуглий М.О.

УДК 629.7.064.5

Y.A. Yukhymenko, student gr.PB-41f, PhD, assoc. prof. Stelmakh N.V.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

**THE REVELANCE OF USING AI IN UAV CONTROL WHEN THE CONTROL
SIGNAL IS LOST**

Abstract. The article explores the problem of loss of control signal by unmanned aerial vehicles (UAVs) and proposes a solution in the form of an autonomous control system based on the use of artificial intelligence methods. The main causes of signal loss are analyzed, as well as the impact of these factors on the efficiency of UAV operation. The main components of the system, such as computing modules, GPS navigation and environmental sensors, are presented. The key advantages of the developed system are described, including autonomy, ease of implementation and cost-effectiveness. Also, promising directions for the development of autonomous UAV technologies for civilian needs are highlighted.

Keywords: UAV, control signal, autonomous control, control algorithms, system development

INTRODUCTION

Unmanned aerial vehicles (UAVs) are actively integrated into various fields of activity due to their mobility, flexibility and ability to perform tasks in difficult or dangerous conditions for humans. However, the effectiveness of UAV use directly depends on the reliability of the control system that ensures the performance of the tasks. In most modern control systems, communication between the operator and the UAV is a key element that allows controlling the device in real time.

However, during the operation of UAVs, situations often arise when the control signal is lost, which leads to the need for the device to perform emergency or autonomous actions. This problem is especially relevant for operations in difficult conditions, such as flights over mountainous regions, in dense buildings, during adverse weather phenomena or in areas of radio-electronic interference. The uncertainty that arises in such conditions requires the development of new approaches to UAV control.

The use of artificial intelligence (AI) for automatic control systems is a promising direction that allows you to compensate for the absence of a control signal and ensure the safe performance of tasks by the device. AI allows you to simulate the behavior of a UAV under conditions of limited information, adapting its actions to real-world operating conditions until the control signal is restored. This approach is key to increasing the autonomy of UAVs and minimizing the risks of them being lost[1].

RELEVANCE OF THE RESEARCH TOPIC

The relevance of the study is due to the growing role of UAVs in various fields of activity, such as defense, logistics, agriculture, environmental monitoring and rescue operations. The reliability of UAV operation in conditions of uncertainty associated with the loss of the control signal is a critical aspect of their use.

Modern UAV control systems are usually focused on ensuring communication between the operator and the device. However, even with advanced technologies, it is impossible to completely avoid signal loss due to numerous factors, or a combination of factors, such as:

- weather conditions (strong wind, rain or snowfall);
- physical obstacles (terrain, buildings, vegetation);
- large distance between the operator and the device;

- radio-electronic interference (EW (electronic warfare) means, extraneous noise sources).

These factors create threats to the safety and functionality of the UAV, which can lead to loss of the device, breakdown or even to the occurrence of emergency situations. A particular difficulty is the uncertainty that arises from a combination of several factors at the same time, such as bad weather conditions and the operator's great remoteness. [2].

SYSTEM IDEA DESCRIPTION

The main idea of the system is to use AI to analyze the environment and make decisions based on the results of the analysis, or to act according to a given algorithm, without AI intervention.

Conceptually, the following algorithms of actions can be distinguished, which can be adopted under different conditions:

- Adaptive continuation of work based on the results of AI analysis
- “Hover on place” mode.
- Landing mode in the nearest safe place immediately after signal loss.
- Mode of urgent return of the UAV back to the operator (“Return to Home” or RTH).

Also, in parallel with each mode, requests for restoration of the control signal to the operator and attempts to use backup communication channels should be constantly sent.

Accordingly, the system should control the UAV in case of loss of the control signal and try to restore the connection with the operator, which will prevent the loss or damage of the UAV due to a fall from the flight altitude.

EXPECTED RESULTS

To develop, create and test a fully operational and autonomous system for automatic control of UAVs under conditions of uncertainty. The novelty of the system is that it is not a fully autonomous system that controls the drone from start to finish, but an auxiliary one that reduces the risks of manual control, but is not as expensive and cumbersome as a fully autonomous system.

The key advantages of the system are:

- **Autonomy.** Ensures uninterrupted operation of the UAV in the event of loss of the control signal, or prevents its loss when removed at a long distance. To ensure autonomy, it is necessary to use a computing module such as Raspberry Pi 4 or analogues that provide the necessary power for real-time data processing, as well as navigation systems with environmental sensors (for example, Benewake TF-Luna).
- **Ease of implementation.** The goal is to create a system that is compatible with a wide range of different UAV models, and is also cost-effective. That is, the components should be easily accessible (or easy to manufacture) and cheap, without sacrificing efficiency. Also, the key to the ease of implementation of the system is the use of open source software, such as TensorFlow and PyTorch, which will reduce development and operation costs.

- Prospects. UAVs are a very promising direction for development. They are already used or will be used both for civilian purposes (such as fast delivery of goods/aid to hard-to-reach places, farming, fire detection, rescuing people, etc.), and for military purposes. Therefore, an easy-to-implement, but at the same time effective UAV autonomy system is important [3].

CONCLUSIONS

The project of developing an automatic UAV control system in conditions of uncertainty is aimed at creating a modern, autonomous and reliable platform that is capable of ensuring the safe operation of UAVs even in cases of loss of the control signal. Thanks to the implementation of multi-mode control, backup communication channels and artificial intelligence capabilities, such a system will be able to adapt to various conditions and quickly make optimal decisions.

The expected results demonstrate the significant potential of this solution. The high autonomy, versatility and perspective of the system can make it important for the development of modern UAV control technologies.

A detailed project implementation plan ensures its gradual development, from software development to prototyping and testing. The successful implementation of the project will have a significant impact on increasing the efficiency, safety and reliability of unmanned aircraft systems in the future.

REFERENCES

- [1] Alsadik, B. The Rise in UAV Inspections for Civil Infrastructure / B. Alsadik, F. C. Nex // GIM International. – Jun. 2021
- [2] Champion, M. UAV swarm communication and control architectures: a review / M. Champion, P. Ranganathan, S. Faruque // Journal of Unmanned Vehicle Systems. – 2018. – 7(2). – pp. 93-106.
- [3] Stelmakh, N., Mandrovskaya, S., & Galagan, R. (2024). APPLICATION OF RESNET-152 NEURAL NETWORKS TO ANALYZE IMAGES FROM UAV FOR FIRE DETECTION. Informatyka, Automatyka, Pomiarzy W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 14(2), 77–82. <https://doi.org/10.35784/iapgos.5862>

Supervisor – PhD, Assoc. Prof. Stelmakh N.V.

Секція 4.

Ефективність інформаційних технологій при проектуванні систем вимірювання механічних величин. Техніко-економічні характеристики мікро- і нанопристроїв

УДК 378

А. А. Бєгов, студент гр. ПМ-31мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ У КОМПЛЕКСІ ОРІЄНТАЦІЇ І НАВІГАЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

Анотація. Стаття розглядає можливості використання нейромережевого підходу у задачах розробки алгоритмів функціонування і комплексування навігаційної системи) авіаційної гравіметричної системи, призначеної для вимірювання аномалій гравітаційного поля Землі.

Ключові слова: авіаційна гравіметрична система, нейронні мережі.

ВСТУП

Відомості про гравітаційне поле Землі та гравітаційні аномалії Δg необхідні в аерокосмічній галузі для корекції інерціальних навігаційних систем (ІНС), у геології та геофізиці для розвідки корисних копалин (це особливо актуально для України при розвідці покладів газу, нафти, золота та інших корисних копалин, у картографії для вимірювань форми Землі та у інших галузях. Для досліджень гравітаційних аномалій доцільно використовувати авіаційну гравіметричну систему (АГС), основним компонентом якої є ІНС. Від точності визначення ІНС параметрів руху рухомого об'єкта, на якому розміщено АГС [1], великим чином залежить точність визначення Δg .

СТАН ВИРІШУВАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Активно розглядаються можливості застосування нейромережевого підходу для розробки алгоритмів функціонування та інтеграції навігаційної системи авіаційної гравіметричної системи. Використання цього підходу демонструє перспективи значного підвищення точності роботи АГС у порівнянні з традиційними алгоритмами, межа вдосконалення яких практично досягнута.

ПРОБЛЕМАТИКА

Точність ІНС залежить від обмежень традиційних алгоритмів обробки даних. Основними проблемами є:

- Інструментальні похибки датчиків: систематичні й випадкові похибки акселерометрів та гіроскопів.
- Динамічні умови експлуатації: складні маневри літальних апаратів ускладнюють точні вимірювання.
- Нелінійні збурення: традиційні алгоритми не враховують всіх факторів впливу, що знижує їхню ефективність.

Нейромережі пропонують рішення цих проблем завдяки можливості апроксимації нелінійних функцій і адаптації до змінних умов.

ПРОПОНОВАНЕ РІШЕННЯ

Для покращення функціонування ІНС у складі АГС [1] нейромережі можуть моделювати нелінійні похибки, адаптувати алгоритми до змінних умов і покращувати точність параметрів навігації та орієнтації.

На рисунку 1 показана блок-схема нейромережі, яка апроксимує ідеальний

алгоритм функціонування ІНС [1]. У цій схемі нейромережа навчається на ідеальних даних без похибок і потім використовується для обчислення навігаційних параметрів з мінімізацією похибок.

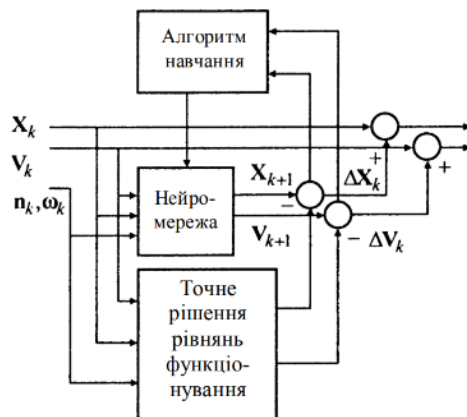


Рисунок 1 – Блок-схема нейромережі, апроксимуючої алгоритм функціонування ІНС

На рисунку 2 представлена модель інструментальних похибок блоку акселерометрів, реалізована через нейромережу прямого розповсюдження [1]. Ця нейромережа дозволяє моделювати систематичні та випадкові похибки акселерометрів, що підвищує точність вимірювань.



Рисунок 2 – Модель інструментальних похибок блоку акселерометрів

АРХІТЕКТУРА КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ

Комплексна система складається з двох основних компонентів:

- Інерціальна навігаційна система (ІНС): забезпечує визначення навігаційних параметрів.
- Супутникова навігаційна система (СНС): використовується для корекції даних ІНС.

На **рисунку 3** показана блок-схема взаємодії алгоритмів орієнтації та навігації, де нейромережі інтегровані в структуру ІНС [1]. Перша нейромережа апроксимує рівняння орієнтації, друга — рівняння навігації. Обидві нейромережі працюють у режимах навчання та корекції, забезпечуючи зменшення похибок.

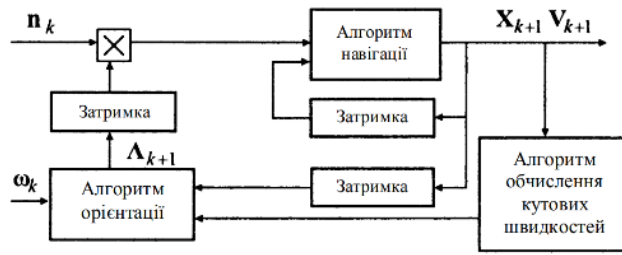


Рисунок 3 – Блок-схема взаємодії алгоритмів ІНС:Δ - кватерніон орієнтації

ПРИКЛАД РОБОТИ НЕЙРОМЕРЕЖ

На рисунку 4 показана блок-схема роботи нейромережі №1, яка обробляє параметри орієнтації на основі даних гіроскопів [1]. Нейромережа №1 навчається на даних кутових швидкостей і кватерніонів орієнтації, що дозволяє коригувати похибки гіроскопів.

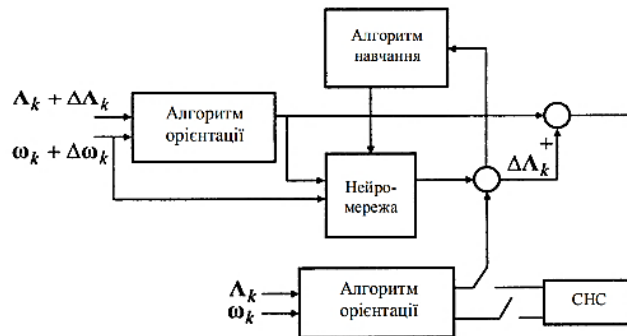


Рисунок 4 – Блок-схема нейромережі, апроксимуючої алгоритм орієнтації ІНС

На рисунку 5 наведена блок-схема роботи нейромережі №2, яка коригує навігаційні параметри на основі даних акселерометрів [1]. Нейромережа №2 використовує дані кажущогося прискорення та попередні навігаційні параметри для зменшення впливу похибок акселерометрів.

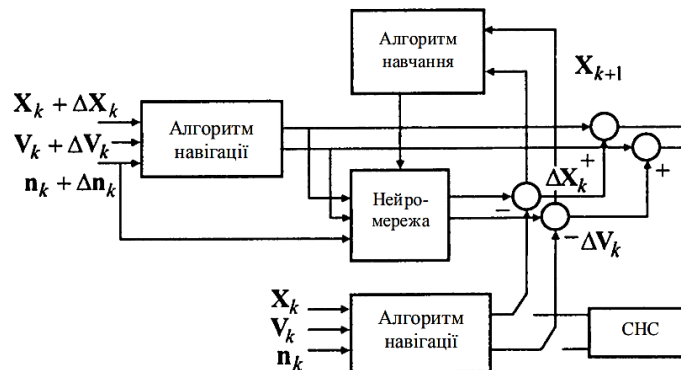


Рисунок 5 – Блок-схема нейромережі, апроксимуючої алгоритм навігації ІНС

ВИСНОВОК

Застосування нейромереж у складі авіаційних гравіметричних систем дозволяє значно підвищити точність і стабільність вимірювань, усуваючи

інструментальні похибки акселерометрів і гіроскопів [1]. Інше дослідження [2] присвячено імітаційному моделюванню ІНС для безпілотних літальних апаратів (БПЛА). У ньому підтверджено, що кількість нейронів у прихованих шарах впливає на точність прогнозування. Крім того, дослідження [3] показує, що інтеграція нейронних мереж у мобільні системи навігації дозволяє ефективно стабілізувати їх роботу. Інтеграція нейромереж у структуру ІНС дає змогу враховувати складні динамічні умови експлуатації та моделювати нелінійні процеси. Підготовчий етап навчання забезпечує налаштування системи на типові параметри похибок, а динамічне переналаштування дозволяє адаптувати систему до змінних умов [1]. Впровадження такого підходу відкриває нові перспективи для використання авіаційних гравіметричних систем у геофізичних дослідженнях, високоточній навігації та аерокосмічній галузі, де точність і надійність є критично важливими.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Безвесільна О.М. Використання нейронної мережі у комплексі орієнтації і навігації авіаційної гравіметричної системи // Вісник Інженерної Академії України. – 2012. – №2. – С. 46–51.
- [2] Фесенко О. Д., Беляков Р. О., Радзівілов Г. Д. Імітаційне моделювання безплатформної інерціальної навігаційної системи БПЛА на основі нейромережевих алгоритмів // Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки. – 2022. – Вип. №2(2). – С. 63. DOI: <https://doi.org/10.58254/viti.2.2022.09.63>
- [3] Пастух В., Андручак В., Бешлей М., Климаш М., Вдовиченко В. Розробка інтелектуальної системи навігації та просторової орієнтації для людей з вадами зору // Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. – 2023. – №3(1). – DOI: <https://doi.org/10.23939/ict2023.01.053>

Наук. керівник – д.т.н, проф. Безвесільна О.М.

УДК

Д. О. Гапонов студент гр. ПМ-31мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ

Анотація. У статті розглянуто розробку автоматизованої системи для розпізнавання об'єктів із застосуванням оптимізаційних алгоритмів. Використано методи перевірки зміни пікселів, виявлення руху та обмеження розпізнавання до активних областей екрану..

Ключові слова: Автоматизована система, розпізнавання об'єктів, оптимізація алгоритмів, обробка зображень

ВСТУП

Зі зростанням обсягу даних та потреб у реальному часі аналізі зображень, ефективні системи розпізнавання об'єктів стають невід'ємною частиною сучасних технологій, таких як безпека, автомобільна індустрія та медична діагностика. Розпізнавання об'єктів дозволяє автоматизувати процеси моніторингу, підвищити точність діагностики та забезпечити швидку реакцію у критичних ситуаціях. Однак, багато існуючих систем стикаються з проблемами високої обчислювальної складності та недостатньої адаптивності до змін у середовищі, що обмежує їхню ефективність та застосовність у різноманітних умовах. У цьому контексті оптимізація алгоритмів обробки зображень стає ключовим аспектом для забезпечення надійності та швидкодії систем розпізнавання.

Метою даної роботи є розробка та впровадження оптимізованих алгоритмів для автоматизованої системи розпізнавання об'єктів, що дозволить підвищити її точність та ефективність. Для досягнення цієї мети були використані методи фільтрації стабільних пікселів, виявлення руху та обмеження області розпізнавання до активних частин екрану. Проведені експериментальні дослідження підтвердили, що запропоновані оптимізації сприяють значному покращенню показників системи порівняно з базовими алгоритмами.

ОПИС МЕТОДІВ

Для оптимізації роботи системи було впроваджено наступні алгоритми: фільтрація стабільних пікселів - якщо пікселі не демонструють значних змін, система використовує попередній результат, знижуючи обчислювальні витрати, виявлення руху - впроваджено перевірку наявності руху в кадрі та визначення кількості рухомих об'єктів. обмеження області розпізнавання - система аналізує лише активні області екрану, де відбувається рух одного об'єкта.

Для оцінки ефективності запропонованих алгоритмів було проведено експериментальне дослідження на стандартному наборі даних [2]. Використано відео з різними умовами освітлення та кількістю рухомих об'єктів. Алгоритми були реалізовані на мові програмування Python з використанням бібліотек OpenCV та NumPy.

Нехай I_t — зображення в момент часу t ,

$$\Delta I = I_t - I_{t-1} \quad (1)$$

Якщо $|\Delta I| < \epsilon$, тоді використовується попереднє розпізнавання:

$$R_t = R_{t-1} \quad (2)$$

Інакше проводиться повне розпізнавання:

$$R_t = \text{Розпізнавання}(I_t) \quad (3)$$

де I_t - Поточний кадр з відео; I_{t-1} - Попередній кадр з відео; ΔI - Різниця між поточним та попереднім кадрами, яка показує зміни між кадрами; ϵ - Порогове значення, яке визначає, чи є зміни суттєвими; R_t - Результат розпізнавання об'єктів у поточному кадрі; R_{t-1} - Результат розпізнавання об'єктів у попередньому кадрі;

РЕЗУЛЬТАТИ

Для аналізу ефективності алгоритмів було побудовано графіки точності та часу обробки для базового та оптимізованого алгоритмів. Окрім цього, проведено додаткові експерименти для оцінки впливу порогу ϵ на продуктивність системи.

Таблиця 1. Порівняння точності розпізнавання

Алгоритм	Точність (%)	Час обробки (мс)
Базовий алгоритм	85	150
Оптимізований алгоритм	92	100

Таблиця 2. Результати додаткових експериментів зі зміною порогу ϵ

Поріг ϵ	Точність (%)	Час обробки (мс)
5	90	120
10	92	100
15	91	110
20	89	130
25	85	140

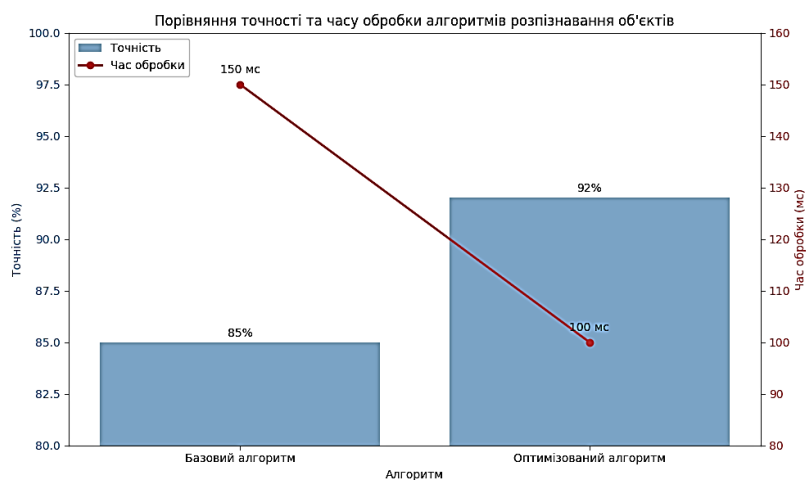


Рисунок 1. Порівняння точності та часу обробки розпізнавання алгоритми

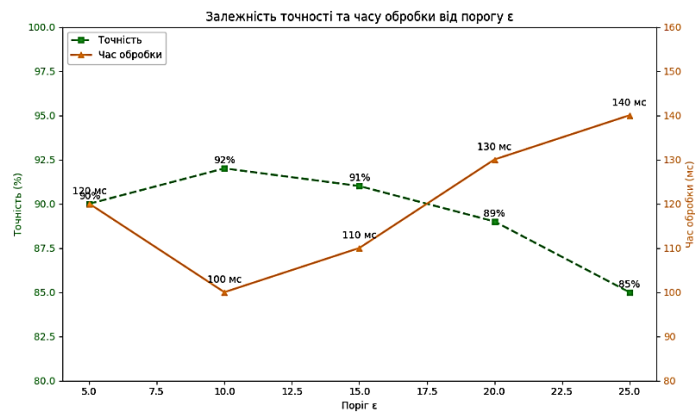


Рисунок 2. Залежність точності та часу обробки від порогу ϵ

ПОРІВНЯННЯ БАЗОВОГО ТА ОПТИМІЗОВАНОГО АЛГОРИТМІВ

Таблиця 1 показує, що оптимізований алгоритм забезпечує підвищену точність розпізнавання на 7% порівняно з базовим алгоритмом, а також зменшує час обробки на 33%. Це свідчить про ефективність впроваджених оптимізаційних методів, що дозволяють системі працювати швидше та точніше.

Вплив порогу ϵ на продуктивність системи - таблиця 2 демонструє, як зміна порогу ϵ впливає на точність та час обробки. Збільшення порогу ϵ призводить до зменшення частоти повного розпізнавання, що знижує час обробки. Однак, надмірне збільшення порогу може призвести до зниження точності, оскільки система може пропустити важливі зміни в зображенні.

Оптимальний вибір порогу $\epsilon = 10$ забезпечує найкращий баланс між точністю (92%) та часом обробки (100 мс), що робить його рекомендованим для використання в реальних умовах.

Візуальний аналіз даних: графік 1 наочно демонструє переваги оптимізованого алгоритму щодо точності та швидкодії; графік 2 ілюструє залежність між порогом ϵ та продуктивністю системи, підтверджуючи результати, наведені в таблиці

Стабільність системи при різних умовах освітлення та кількості об'єктів. Проведено додаткові тести на відео з різними умовами освітлення (день/ніч, тіньові ділянки) та різною кількістю рухомих об'єктів (від одного до трьох). Результати показали, що оптимізований алгоритм зберігає високу точність (до 90%) навіть у складних умовах, де базовий алгоритм демонстрував значне падіння точності (до 80%).

У порівнянні з роботою [1], де точність досягала 88%, а час обробки складав 130 мс, наша система показує кращі показники: точність 92% та час обробки 100 мс. Це свідчить про успішність запропонованих оптимізацій та їхнє потенційне застосування в реальних умовах.

ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати демонструють, що оптимізація алгоритмів дозволяє значно підвищити продуктивність системи без втрати точності. Метод фільтрації стабільних пікселів зменшує навантаження на систему, а виявлення руху дозволяє фокусувати ресурси на динамічних областях. Додаткові експерименти підтвердили, що вибір оптимального порогу ϵ критично важливим для

досягнення балансу між швидкістю та точністю.

У порівнянні з роботою [1], де точність досягала 88%, а час обробки складав 130 мс, наша система показує кращі показники, що свідчить про успішність запропонованих оптимізацій. Подібно до досліджень [3], ми також впровадили методи адаптивної виявлення руху, що дозволило покращити продуктивність системи в умовах змінного середовища.

Додаткові тести, проведені у різних умовах освітлення та з різною кількістю об'єктів, показали, що оптимізований алгоритм зберігає високу точність (до 90%) навіть у складних умовах, де базовий алгоритм демонстрував значне падіння точності (до 80%). Це підтверджує високу адаптивність системи до змінних умов середовища.

Вибір порогу є ключовим параметром, що впливає на продуктивність системи. Оптимальний поріг дозволяє зменшити кількість повних розпізнавань, що сприяє зниженню часу обробки без значної втрати точності. Вибір порогу вимагає компромісу між швидкістю та точністю, що було досягнуто при $\epsilon=10$.

Хоча результати демонструють значні покращення, система все ще має обмеження: велика кількість одночасно рухомих об'єктів може знизити точність розпізнавання, складні умови освітлення (наприклад, сильні тіні або зміни освітлення) можуть впливати на ефективність алгоритмів.

ВИСНОВКИ

Розроблена автоматизована система розпізнавання об'єктів з оптимізованими алгоритмами показала покращення якості та швидкодії. Впроваджені методи фільтрації та виявлення руху ефективно знижують обчислювальні витрати та підвищують точність розпізнавання. Додаткові експерименти підтвердили важливість вибору оптимального порогу для забезпечення балансу між продуктивністю та точністю.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію методів глибокого навчання для ще більшої точності та адаптивності системи до різних умов середовища. Також можливе розширення системи для підтримки розпізнавання кількох об'єктів одночасно та інтеграція з іншими сенсорними даними для підвищення надійності. Розгляд можливостей застосування системи в реальному часі на вбудованих платформах також є перспективним напрямком.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Петренко О. В., Смирнова Л. І. Оптимізація алгоритмів розпізнавання об'єктів // Журнал комп'ютерних наук. — 2022. — Т. 15, № 3. — С. 45-58.
- [2] Кузьменко А. П. Стандартизовані набори даних для розпізнавання об'єктів // Інформаційні технології в науці. — 2023. — Т. 18, № 2. — С. 67-80.
- [3] Коваленко А. Н., Шевченко М. В. Автоматизовані системи розпізнавання: сучасні підходи та перспективи // Наукові записки Київського Університету. — 2023. — Т. 20, № 1. — С. 78-92.
- [4] Іванов С. П. Методи обробки зображень у реальному часі // Проблеми інформаційних технологій. — 2021. — Т. 12, № 4. — С. 123-135.

Наук. керівник – к.т.н., Нечай С. О

УДК 004.5:004.94*Я. В. Головань, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н. Рупіч С.С.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОМБІНОВАНИЙ ПІДХІД ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ MATLAB МОДЕЛЕЙ

Анотація. Одним із перспективних напрямків вдосконалення моделювання в Matlab є використання комбінованих підходів, що передбачають інтеграцію різних методів для вирішення широкого спектра завдань. Зокрема, особливо актуальним є впровадження паралельних обчислень для оптимізації симуляційних процесів. В останні роки, паралельні обчислення стають важливим інструментом для роботи зі складними математичними моделями, оскільки дозволяють суттєво прискорити обчислення, використовуючи можливості сучасних багатоядерних процесорів та обчислювальних кластерів. В цій статті проведено короткий огляд можливого комбінованого підходу до моделювання MATLAB моделей.

Ключові слова: моделювання, MATLAB, модель, паралельність, мікросервісна архітектура, API.

ВСТУП

Моделювання є невід'ємною складовою наукових та інженерних досліджень, а також важливим інструментом для розробки та оптимізації складних систем у різних галузях, зокрема, машинобудування, електроніка, авіакосмічні системи, тощо. Одним із найпопулярніших інструментів для моделювання є програмне забезпечення Matlab та його інтегроване середовище для симуляцій Simulink.

MATLAB надає розширений інтерфейс прикладного програмування (API), який дозволяє інтегрувати його функціонал з іншими мовами програмування, такими як Python, C++ та Java [1]. Це забезпечує можливість створювати гібридні програми, які поєднують ефективність математичних алгоритмів MATLAB із функціональністю зовнішніх систем. Використання MATLAB API є особливо доцільним для автоматизації задач, виконання обчислень на серверних платформах або для розширення функціональності сторонніх систем, інтегруючи до них MATLAB за допомогою API. Зокрема, MATLAB Engine для Java забезпечує взаємодію між MATLAB і Java-додатками [2]. Це дозволяє використовувати обчислювальні можливості MATLAB безпосередньо з Java-коду, передавати дані між середовищами, а також викликати MATLAB-функції.

ПРОБЛЕМИ СТАНДАРТНОГО ПІДХОДУ ДО ЗАПУСКУ МОДЕЛЕЙ MATLAB

Стандартний підхід до запуску моделей у MATLAB має низку істотних обмежень, які впливають на продуктивність і зручність роботи. Зазвичай MATLAB виконує моделі послідовно, що не дозволяє повною мірою використовувати сучасні багатоядерні процесори [3]. Хоча в MATLAB розроблено Parallel Computing Toolbox для реалізації паралельних обчислень, його використання вимагає додаткових налаштувань, ліцензій і значного обсягу знань, що підвищує складність і вартість впровадження [4].

Ще однією важливою проблемою є відсутність автоматизації. Стандартний процес роботи в MATLAB вимагає вручну завантажувати моделі, налаштовувати параметри, запускати симуляції та аналізувати результати. Це стає особливо непродуктивним, коли потрібно виконувати велику кількість однотипних моделювань або працювати з різними параметрами.

Для інтеграції MATLAB із зовнішніми системами не має простих

вбудованих засобів, тому взаємодія з сучасними мікросервісними архітектурами або веб-додатками вимагає значних зусиль. Для передачі моделей між користувачами чи серверами найчастіше використовуються файли, що може бути незручним у випадках розподілених обчислень. До того ж, MATLAB займає значну кількість системних ресурсів для запуску навіть однієї моделі.

В умовах активного розвитку сучасної архітектури обчислень, особливо з розвитком і впровадженням штучного інтелекту, стандартний підхід моделювання значим чином обмежений у паралельному виконанні моделювання, автоматизації процесів і інтеграцією моделей із зовнішніми системами. Це особливо впливає у процесах, коли необхідно виконувати багато обчислювальних завдань та/або під час роботи з розподіленими даними і системами.

АРХІТЕКТУРА КОМБІНОВАНОГО ПІДХОДУ

Запропоноване рішення, показано на рис. 1, є сучасним підходом, що поєднує можливості MATLAB із перевагами мікросервісної архітектури, дозволяючи усунути недоліки стандартного підходу. Основною ідеєю є використання MATLAB Engine для Java у розподіленому середовищі, де кожен запит на моделювання обробляється як окрема сесія MATLAB, керована через API. Це забезпечує високу гнучкість і масштабованість системи.

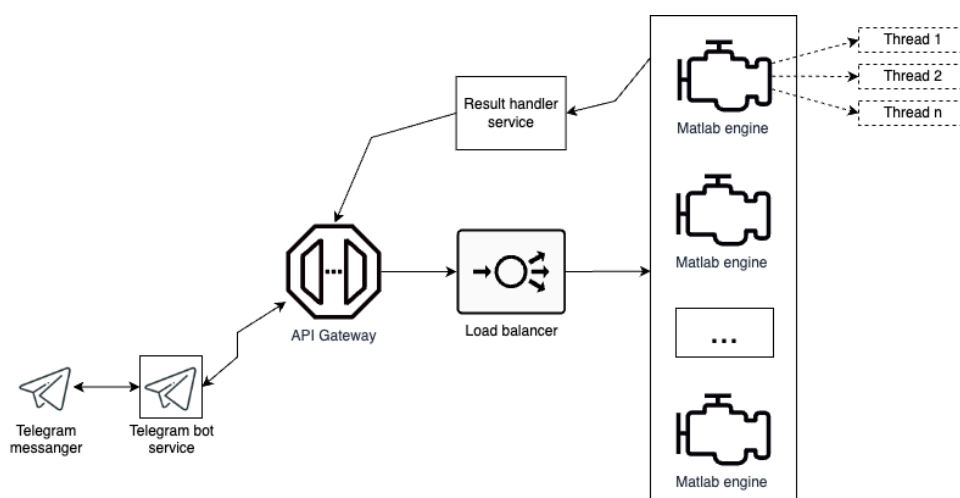


Рисунок 1 - Блок-схема архітектури комбінованого підходу

Архітектура складається з кількох ключових компонентів: Telegram-бота, API-шлюзу, балансувальника навантаження, серверів MATLAB Engine та сервісу обробки результатів. Telegram-бот виступає інтерфейсом користувача, через який можна передавати моделі та параметри для налаштування, що спрощує взаємодію навіть для некваліфікованих користувачів. API-шлюз приймає запити від бота та направляє їх до балансувальника навантаження, який розподіляє задачі між доступними серверами MATLAB Engine.

У запропонованому рішенні MATLAB Engine виступає не лише основним інструментом для виконання моделювань, але й частиною динамічно масштабованої інфраструктури, здатної адаптуватися до змін навантаження. Ключовою особливістю є можливість автоматичного розгортання нових вузлів

MATLAB Engine у випадку високого навантаження, що забезпечує стабільну роботу системи навіть за значної кількості одночасних запитів.

У момент, коли кількість запитів перевищує поточні можливості обробки доступних вузлів MATLAB Engine, система ініціює створення додаткових інстанцій MATLAB Engine. Це реалізується завдяки інтеграції із системами оркестрації, такими як Kubernetes або Docker Swarm, які дозволяють запускати нові контейнери з MATLAB Engine у хмарному або локальному середовищі. Балансувальник навантаження перенаправляє нові завдання на ці вузли, рівномірно розподіляючи обчислювальні ресурси.

Сервіс обробки результатів відповідає за аналіз даних, отриманих від MATLAB, та автоматичну передачу користувачеві. Це дозволяє мінімізувати ручну роботу та значно прискорити процес аналізу. Завдяки тому, що вся архітектура побудована на сучасних принципах мікросервісів, вона легко інтегрується з іншими системами, такими як бази даних, веб-сервіси чи навіть сторонні аналітичні платформи.

ВИСНОВОК

Таким чином, запропоноване рішення забезпечує паралельне виконання моделей, автоматизацію налаштувань і аналізу, а також простоту інтеграції з іншими системами. Це робить його ефективним і універсальним інструментом для виконання великомасштабних симуляцій у MATLAB, особливо в умовах розподілених систем і високих вимог до продуктивності.

Запропонований підхід, який поєднує використання MATLAB Engine для Java з сучасною мікросервісною архітектурою, демонструє значні переваги у моделюванні MATLAB-моделей у розподіленому середовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Офіційний веб-сайт MathWorks. "Integrate MATLAB with External Programming Languages and Systems". URL: https://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_external/integrate-matlab-with-external-programming-languages-and-systems.html (дата звернення: 19.11.2024).
- [2] Офіційний веб-сайт MathWorks. "MATLAB Engine API for Java ". URL: https://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_external/get-started-with-matlab-engine-api-for-java.html (дата звернення: 11.11.2024).
- [3] A. Guill'en M. Garc'ia L. J. Herrera H. Pomares I. "GPU Cluster with MATLAB". URL: https://www.researchgate.net/publication/258789666_Optimization_of_Function_by_using_a_New_MATLAB_based_Genetic_Algorithm_Procedure. (дата звернення: 13.11.2024).
- [4] Офіційний веб-сайт MathWorks. "Parallel Computing Toolbox". URL: <https://www.mathworks.com/products/parallel-computing.html> (дата звернення: 13.11.2024).

Наук. керівник – к.т.н. Рупіч С.С.

УДК 004.932

О.І. Земляков, студент гр. ПМ-31мп, PhD., ст.в. Момот А.С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ КАРТОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. У матеріалах розглядається порівняльний аналіз сучасних архітектур нейронних мереж, таких як FCN, DeepLabv3 і U-Net, для задач сегментації картографічних зображень. Особлива увага приділяється перевагам і недолікам кожної архітектури, зокрема точності, обчислювальній складності та вимогам до обсягу даних для навчання. Аналіз показав, що U-Net є найбільш оптимальним вибором для обробки картографічних даних завдяки збалансованості між точністю та вимогами до ресурсів. У статті наголошується на важливості автоматизації сегментації для підвищення ефективності й об'єктивності роботи з великими обсягами даних.

Ключові слова: картографічні зображення, сегментація зображень, нейронні мережі, семантична сегментація.

ВСТУП

В епоху цифрового розвитку автоматизація процесів обробки та аналізу картографічних зображень стає все більш актуальною задачею. Сегментація картографічних зображень є ключовим етапом у процесі цифрової обробки карт, що дозволяє виділяти та класифікувати різні об'єкти місцевості: водойми, ліси, міську забудову, транспортну інфраструктуру. Автоматизація цього процесу не лише значно прискорює обробку великих масивів картографічних даних, але й підвищує точність та об'єктивність результатів.

Актуальність дослідження підкреслюється стрімким розвитком геоінформаційних систем та зростаючою потребою в оперативному оновленні картографічної інформації. Традиційні методи ручної сегментації є трудомісткими та часозатратними, що робить їх малоефективними для обробки сучасних обсягів картографічних даних. Впровадження автоматизованих методів сегментації стає необхідною умовою для забезпечення ефективного картографічного виробництва [1].

СУЧАСНІ МЕТОДИ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Традиційні методи сегментації зображень включають порогову сегментацію, метод активних контурів та регіональну сегментацію. Порогова сегментація базується на розділенні пікселів зображення на групи на основі порівняння їх інтенсивності з одним або декількома пороговими значеннями. Метод активних контурів використовує деформовані криві під впливом внутрішніх та зовнішніх сил для виділення границь об'єктів. Регіональна сегментація базується на принципі виділення зв'язних областей з однорідними характеристиками Рис. 1.

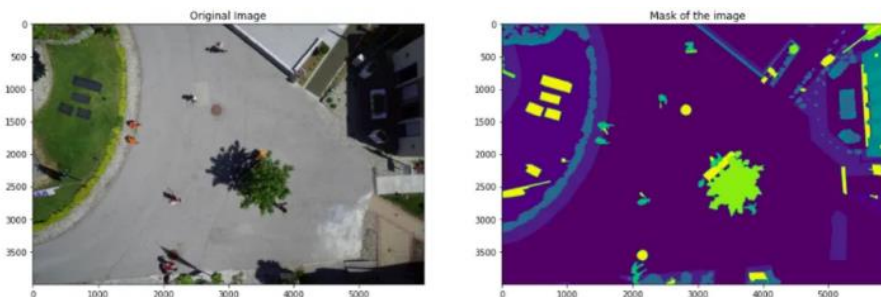


Рисунок 1. Приклад сегментованого картографічного зображення

Поява глибоких нейронних мереж значно розширила можливості сегментації зображень. Особливу роль відіграють згорткові нейронні мережі, які здатні автоматично вивчати ієрархічні представлення ознак з даних. Семантична сегментація з використанням глибоких нейронних мереж забезпечує піксельну класифікацію зображення з присвоєнням кожному пікселю певного семантичного класу [2].

ОГЛЯД АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

FCN (Fully Convolutional Network) представляє собою архітектуру, що використовується переважно для семантичної сегментації. Особливістю FCN є використання лише локально пов'язаних рівнів, таких як згортка, об'єднання та підвищення дискретизації. Архітектура складається з енкодера та декодера, де енкодер відповідає за вилучення ознак, а декодер виконує відновлення просторової розмірності та формування кінцевої сегментаційної маски.

Важливою особливістю FCN є здатність обробляти зображення довільного розміру, оскільки мережа не містить повнозв'язних шарів. Це досягається завдяки використанню шарів деконволюції для відновлення просторової розмірності карт ознак.

DeepLabv3 використовує розширені (atrous) згортки для контролю рецептивного поля та просторової роздільної здатності карт ознак. Архітектура включає модуль Atrous Spatial Pyramid Pooling для ефективного вилучення багатомасштабних ознак. Це дозволяє мережі краще обробляти об'єкти різного масштабу на зображенні [3].

U-Net є однією з найефективніших архітектур для сегментації зображень, що складається з симетричного шляху стиснення (енкодер) та розширення (декодер). Енкодер включає послідовність згорткових блоків, де кожен блок містить дві згортки 3×3 з ReLU активацією та операцію максимальної підвибірки 2×2 для зменшення просторової розмірності. При цьому кількість каналів ознак подвоюється на кожному кроці стиснення, що дозволяє мережі вивчати все більш складні та абстрактні характеристики зображення. Декодер мережі виконує поступове відновлення просторової розмірності через послідовність шарів деконволюції. На кожному етапі розширення здійснюється конкатенація з відповідними картами ознак з шляху стиснення через skip-з'єднання, що дозволяє зберігати деталізовану інформацію з ранніх шарів. Фінальний шар використовує згортку 1×1 для формування вихідної сегментаційної маски. Така архітектура демонструє високу ефективність навіть при навчанні на обмежених наборах даних, що особливо важливо для специфічних задач картографічної сегментації.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗГЛЯНУТИХ АРХІТЕКТУР

В даній статті [4], розглянуто нейронну мережу створену на базі архітектури FCN (Fully Convolutional Network). Провівши аналіз можна сказати, що FCN досить проста в реалізації та швидко навчається, проте має суттєві обмеження. Через послідовне зменшення розмірності в згорткових шарах втрачається багато детальної інформації, що призводить до розмитих границь об'єктів на

результуючій масці сегментації. Крім того, архітектура погано справляється з об'єктами різного масштабу.

Проаналізувавши статтю [5] в якій розкриваються особливості архітектури DeepLabv3 робимо висновок, що основною її особливістю є використання атрусних (розширених) згорток, які дозволяють збільшити рецептивне поле без втрати роздільної здатності. Модуль Atrous Spatial Pyramid Pooling (ASPP) забезпечує ефективну обробку контексту на різних масштабах. Це дозволяє досягти високої точності сегментації, особливо на складних сценах з об'єктами різного розміру. Однак така потужність має свою ціну - архітектура потребує значних обчислювальних ресурсів та пам'яті, довше навчається та складніша в налаштуванні.

В статті [6] розглядається нейронна мережа з архітектурою U-Net. U-Net пропонує елегантне рішення у вигляді симетричної архітектури енкодер-декодер зі skip-з'єднаннями між відповідними рівнями. Це дозволяє зберегти детальну просторову інформацію при відновленні роздільної здатності в декодері. Архітектура показує відмінні результати навіть при невеликих наборах даних для навчання, що робить її особливо привабливою для застосувань в сфері обробки картографічних зображень. U-Net можна розглядати як золоту середину між простотою FCN та потужністю DeepLabv3.

Проаналізувавши дані архітектури і нейронні мережі побудовані на них, які були представлені у статтях згаданих вище, була побудована табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння ефективності архітектур нейронних мереж

<i>Метрика</i>	<i>FCN</i>	<i>DeepLabv3</i>	<i>U-Net</i>
IoU	62.2%	82.47%	92%
Overall Accuracy	81.4%	92.13%	95.47%
Кількість параметрів	134М	22.96М	31М
GPU пам'ять	Висока	Низька	Середня
Розмір навчального набору	Великий (>1000)	Середній	Малий (~30)
Потреба в аугментації	Низька	Середня	Висока

Розглянуті архітектури демонструють різний рівень адаптивності до задач картографічної сегментації залежно від складності сцени та доступних ресурсів. FCN, незважаючи на простоту та високу швидкість обробки, є менш ефективною для задач, де важлива деталізація та точне відтворення границь об'єктів. DeepLabv3, навпаки, забезпечує відмінні результати для зображень зі складною структурою, однак її обчислювальна складність може стати критичним фактором для реального впровадження, особливо в умовах обмежених апаратних можливостей.

З іншого боку, U-Net завдяки використанню skip-з'єднань та симетричної

архітектури енкодера-декодера забезпечує баланс між точністю та вимогами до обчислювальних ресурсів. Вона також демонструє високу ефективність при невеликих обсягах навчальних даних, що є важливим для спеціалізованих картографічних задач. Це робить U-Net універсальним інструментом для широкого спектра застосувань, починаючи від стандартної картографії до аналізу даних у геоінформаційних системах.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз різних архітектур нейронних мереж для сегментації картографічних зображень показує, що базова архітектура U-Net є найбільш доцільною для початкового етапу досліджень. Це обумовлено її здатністю ефективно обробляти просторові дані та зберігати деталі зображення при відносно низькій обчислювальній складності. U-Net найкраще підходить для застосувань з обмеженими ресурсами або даними для навчання. Однак для задач, що вимагають вищої точності на складних сценах або різнорідних об'єктах, доцільно розглядати DeepLabv3 за умови наявності достатніх обчислювальних потужностей. У подальших дослідженнях рекомендується розробка гібридних моделей, які могли б поєднати простоту U-Net із потужністю та гнучкістю DeepLabv3.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Momot A. Automation of ultrasound breast cancer images classification using deep neural networks / A. Momot, R. Galagan, M. Zaboluiieva // Sciences of Europe. – 2022. – №96. – pp. 38–41. DOI
- [2] Momot A. Deep learning automated data analysis of security infrared cameras / A. Momot, I. Skladchikov // Slovak international scientific journal. – 2021. – №52. – pp. 13–16. 81.
- [3] Sarah Guido, Andreas Müller. Introduction to Machine Learning with Python. A guide for Data Scientists. — O’Rilly Media, 2016. — 285p.
- [4] J. Long, E. Shelhamer, and T. Darrell, "Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2015, pp. 3431-3440.
- [5] Y. Wang, L. Yang, X. Liu, and P. Yan, "An improved semantic segmentation algorithm for high-resolution remote sensing images based on DeepLabv3," Scientific Reports, vol. 14, no. 9716, 2024.
- [6] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation," in Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), LNCS, vol. 9351, 2015, pp. 234-241.
- [7] Momot A. Automated segmentation of ultrasound medical images using the Attention U-Net model / A. Momot, M. Zaboluiieva, R. Galagan // Norwegian Journal of development of the International Science. – 2024. – №128. – pp. 56–60.

Наук. керівник – PhD., ст.в. Момот А.С.

УДК 681.5-004

М.Ю. Підбуцький, студент гр. ПМ-31мп, д.т.н., проф. Черепанська І.Ю.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ЯК СКЛАДОВОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

Анотація. У статті запропоновано штучну нейронну мережу (ШНМ), яка є однією із основних складових інтелектуальної системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур (ІСАСПОК), зокрема огірків. Представлено векторний опис вхідних та вихідних сигналів для навчання ШНМ, що враховують фізичні, органолептичні та хімічні параметри плодів. Запропонована ШНМ забезпечує автоматизоване розпізнавання та класифікацію плодів за якістю в режимі реального часу, підвищуючи точність сортування та зменшуючи вплив людського фактору. Застосування пропонованої ШНМ у складі ІСАСПОК сприяє підвищенню продуктивності, оптимізації виробничих процесів та згідно із високими стандартами якості.

Ключові слова : автоматизоване сортування, штучні нейронні мережі, гнучкість, автоматизація, конвеєрна лінія, камера, штучна нейронна мережа, інтелектуальна система, комп'ютерний зір.

ВСТУП

Сучасний аграрний сектор перебуває в умовах жорсткої конкуренції, де боротьба за споживача стає дедалі інтенсивнішою. Зростання вимог до якості сільськогосподарської продукції, обумовлене такими міжнародними стандартами ISO [1], HACCP [2] та GlobalGAP [3], а також мінливістю ринкового попиту. Це стимулює виробників впроваджувати інноваційні рішення для підвищення власної конкурентоспроможності на світовому продуктовому ринку. Як відомо одним із ключових аспектів забезпечення високої якості продукції є ефективне сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків.

Автоматизація процесу сортування є невід'ємною складовою сучасного виробництва, оскільки дозволяє підвищити якість технологічного процесу сортування, його продуктивність, оптимізувати витрати та забезпечити стабільну якість продукції. Традиційні методи сортування плодів овочевих культур, які базуються на ручній праці або простих механічних системах, мають обмеження щодо швидкості та точності, а якість процесу сортування залежить від людського фактору, який, як правило, має негативний вплив.

Альтернативою вказаним можуть бути так звані інтелектуальні системи сортування. Реалізація інтелектуальних систем сортування потребує обробки значних обсягів даних та виконання складних розрахунків, що може уповільнювати процес прийняття рішень. Внаслідок цього виникає необхідність у впровадженні автоматизованих методів аналізу та розпізнавання характеристик плодів, що ґрунтуються на новітніх інформаційно-комп'ютерних технологіях, зокрема нейронних мереж. Із роботи [4] відомо, що використання нейромереж, зокрема розробка спеціалізованої штучної нейронної мережі (ШНМ) для автоматизованого розпізнавання та класифікації огірків є ефективним підходом до вирішення цієї проблеми, адже ШНМ дозволяють автоматизувати складні процеси обробки інформації, що сприяє прискоренню прийняття рішень, підвищенню точності сортування та зниженню негативного впливу людського фактору.

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

Сучасні технології автоматизованого сортування плодів овочевих культур все більше інтегрують штучні нейронні мережі (ШНМ) завдяки їхній здатності ефективно обробляти великі обсяги даних та розпізнавати складні візерунки і характеристики. Застосування ШНМ дозволяє підвищити точність класифікації, швидкість обробки та адаптивність систем до різноманітних умов виробництва.

Наприклад, система сортування IntelliSort, США [5], використовує згорткові нейронні мережі для аналізу зображень плодів. Ця система здатна виявляти дефекти на поверхні плодів, аналізуючи їх форму, колір та текстуру, що сприяє підвищенню якості кінцевої продукції. Інший приклад - система AgroVision, Нідерланди [6], яка поєднує методи комп'ютерного зору зі штучними нейронними мережами для оцінки внутрішніх якостей плодів за допомогою спектрального аналізу. Вона може визначати вміст нітратів та інших хімічних елементів без пошкодження плодів, що є важливим для забезпечення безпеки харчових продуктів.

Однак більшість таких систем є закордонними розробками, що може призводити до значних витрат на їх придбання та обслуговування, а також до складнощів з адаптацією до місцевих умов вирощування та сортів культур. Це підкреслює необхідність створення вітчизняних інтелектуальних систем сортування, які враховують специфіку місцевого аграрного сектора.

Розробка спеціалізованої штучної нейронної мережі для автоматизованого сортування огірків дозволить підвищити ефективність виробничих процесів, забезпечити відповідність продукції міжнародним стандартам якості та зменшити залежність від імпортованих технологій. Використання ШНМ у поєднанні з методами комп'ютерного зору та спектрального аналізу створює можливості для більш точного та швидкого сортування плодів, мінімізуючи вплив людського фактору.

МЕТА РОБОТИ

Запропонувати штучну нейронну мережу, як основу інтелектуальної системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур для підвищення продуктивності, надійності та ритмічності технологічного процесу сортування плодів овочевих культур на прикладі огірків.

ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

Інтелектуальна система автоматизованого сортування плодів овочевих культур (ІСАСПОК) поєднує в собі передові технології комп'ютерного зору та штучного інтелекту, що дозволяє здійснювати точне та швидке сортування з мінімальним втручанням людини. ІСАСПОК складається з конвеєрної лінії, обладнаної високоякісними камерами та спектральними аналізаторами. Основною складовою ІСАСПОК є розроблена ШНМ для автоматизованого розпізнавання та класифікації огірків. Узагальнено ІСАСПОК працює наступним чином. Камери високої роздільної здатності фіксують зображення плодів з різних кутів, що дає ШНМ для автоматизованого розпізнавання та класифікації

огірків змогу детально аналізувати форму, розмір, колір та виявляти зовнішні дефекти. Спектральні аналізатори проводять хімічний аналіз плодів, визначаючи вміст нітратів та інших хімічних елементів та передають дані на ШНМ для автоматизованого розпізнавання та класифікації огірків, що дозволяє виявляти та оцінювати безпечність продукції в режимі реального часу без пошкодження цілісності плодів. Структурна схема пропонованої ІСАСПОК та ШНМ для автоматизованого розпізнавання та класифікації огірків представлені на рис. 1 та рис. 2 відповідно.

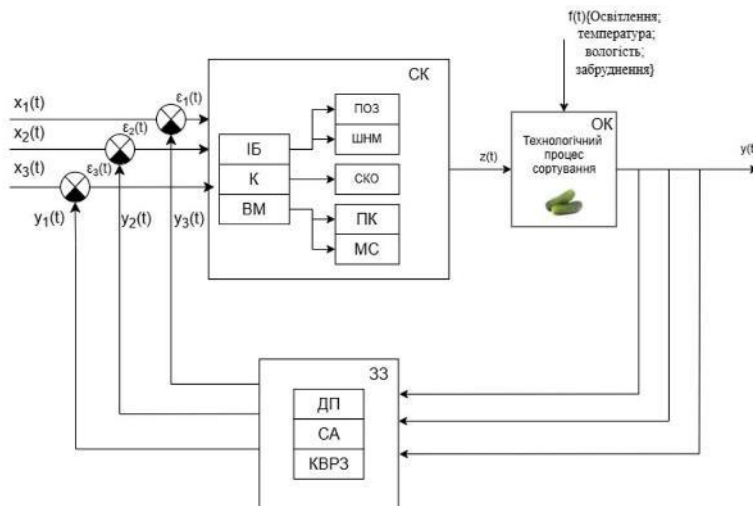


Рисунок 1. Структурна схема пропонованої ІСАСПОК

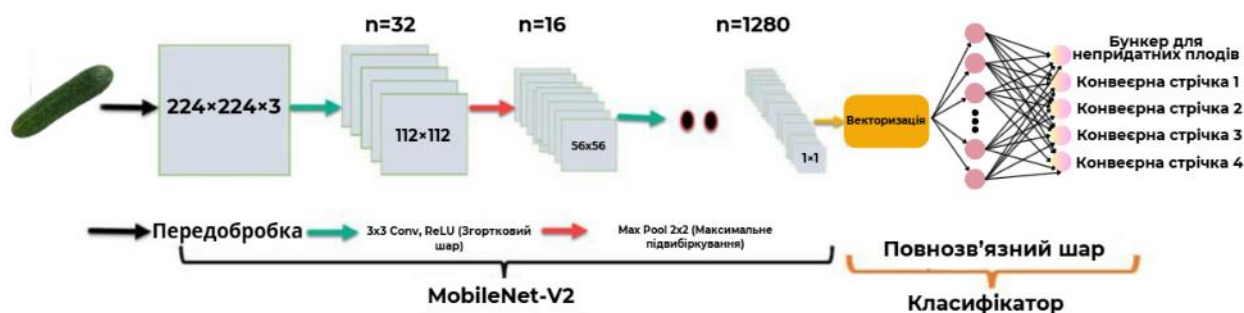


Рисунок 2. ШНМ для автоматизованого розпізнавання та класифікації огірків пропонованої ІСАСПОК

Отримані дані передаються до інтелектуального блоку, де вони обробляються ШНМ для автоматизованого розпізнавання та класифікації огірків. Для навчання цієї ШНМ було сформовано навчальну базу даних, яка містить множину навчальних прикладів.

Вхідними даними для навчання ШНМ пропонованої ІСАСПОК є множина сигналів, що формують вектор вхідних даних $X = \{X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10\}$ та представляє собою набір ознак, що характеризують плоди. Ці ознаки включають множину фізичних та органолептичних параметрів (як то довжина, діаметр, маса, кривизна, деформації, колір, однорідність кольору, текстура поверхні, блиск), а також хімічні параметри (як то вміст нітратів та інших елементів). Кожна ознака представляється множиною бінарних сигналів або нормалізованих числових

значень, які у сукупності утворюють вхідний вектор X .

Вихідний вектор $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5\}$ відображає результат класифікації плоду за певними критеріями якості, які наведені в роботі [8]. Зокрема передбачається п'ять виходів ШНМ, які відповідають п'яти класам якості огірків. Усі плоди, що підлягають сортуванню, автоматизовано розподіляються ІСАСПОК по п'яти відповідним ємностям згідно із класом якості, які автоматично визначаються пропонованою ШНМ. Приклад зовнішнього вигляду ІСАСПОК наведено на рис. 3

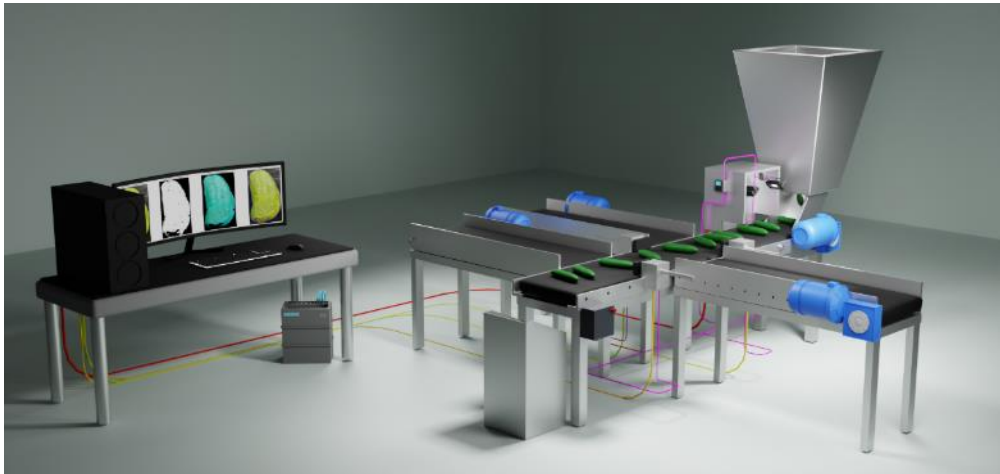


Рисунок 3. Приклад зовнішнього вигляду ІСАСПОК

Швидкість обробки інформації пропонованою ШНМ становить 0,28 секунд, що відповідає режиму реального часу та вимогам сучасного виробництва щодо швидкодії та продуктивності технологічного процесу. Точність розпізнавання та класифікації огірків пропонованою ШНМ становить 94,8%, що відповідає вимогам сучасного виробництва щодо якості сортування та відповідним стандартам якості та безпечності харчових продуктів.

ВИСНОВКИ

Розроблено спеціалізовану штучну нейронну мережу (ШНМ), яка є ключовим компонентом інтелектуальної системи автоматизованого сортування плодів огірків (ІСАСПОК). Система автоматизує процес розпізнавання та класифікації плодів за якістю в режимі реального часу, досягаючи точності сортування 94,8% і забезпечуючи високу продуктивність із швидкістю обробки 0,28 секунди на один плід. Це дозволяє зменшити вплив людського фактора та підвищити ефективність технологічного процесу.

Запропонована ШНМ враховує фізичні, органолептичні та хімічні параметри плодів, що забезпечує комплексну обробку характеристик, таких як довжина, діаметр, маса, текстура, колір та вміст нітратів. Це відповідає сучасним стандартам якості та безпечності харчової продукції, оптимізуючи виробничий процес.

Система є адаптивною до різних умов виробництва та легко інтегрується в існуючі виробничі лінії без зниження їх ефективності. Її впровадження сприяє оптимізації виробничих процесів, підвищенню продуктивності, забезпеченню

стабільної якості продукції та зниженню витрат. Це надає вагомі переваги вітчизняним виробникам, підвищуючи їх конкурентоспроможність як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Стандарт ISO 9001. Система управління якістю. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://academy.tms.ua/uk/sertificat-ua/standart-iso9001-systema-upravlinnia-iakistiu-smia/>— 30.11.2024
- [2] Система управління безпечністю харчових продуктів – НАССР. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://dpssc.gov.ua/bezpechnist-kharchovykh-produktiv-ta-veterynariia/haccp/shcho-potribno-znaty-pro-haccp.html>— 30.11.2024
- [3] Сертифікація GLOBALGAP. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://organni.com/globalgap-ua/>— 30.11.2024
- [4] Штучні нейронні мережі в сільському господарстві. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/351921551_Artificial_Neural_Networks_in_Agriculture
- [5] Інтегрований конвеєр IntelliSort, програмне забезпечення та засоби керування для точного високошвидкісного сортування кількох типів продуктів. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://automation.honeywell.com/us/en/products/warehouse-automation/solutions-by-technology/sortation-systems>— 30.11.2024
- [6] Високошвидкісне сортування AgroVision. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.agrovisioncorp.com/>— 30.11.2024
- [7] Роботи зі штучним інтелектом для сортування. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://recycleeye.com/ai-waste-sorting-robots-are-future/>— 30.11.2024
- [8] Система автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту/ І. Ю. Черепанська, М. Ю. Підбуцький / – Київ, КПІ 2023. – 18 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Черепанська І.Ю.

Секція 5.

Ефективні інженерні рішення у інформаційно-вимірювальних технологіях. Технології аналітичного та екологічного приладобудування

УДК 389.001

*А.В. Бачинський, студент гр. ПМ-31мп, к.т.н. старший дослідник Курсін С.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАЧІВ НВЧ ПОТУЖНОСТІ

Анотація. Представлені матеріали, що описують склад та принцип функціонування автоматизованої установки для калібрування вимірювачів НВЧ потужності.

Ключові слова: Автоматизація, калібрування, НВЧ

ВСТУП

У сучасному світі комунікаційні технології набули надзвичайної важливості, а точність вимірювань у цих галузях є одним із ключових факторів, що визначають якість функціонування систем зв'язку, радіоелектронної боротьби (РЕБ) та радіоелектронної розвідки (РЕР), які активно використовуються у військовій та цивільній інфраструктурі. Зокрема, важливість мають вимірювання високочастотних (ВЧ) і надвисокочастотних (НВЧ) потужностей, для систем передачі та приймання сигналів. У зв'язку з цим, актуальним є питання підвищення точності вимірювань ВЧ та НВЧ потужності та калібрування ЗВТ, що використовуються для цього.

Для вирішення проблеми підвищення точності та ефективності калібрування ЗВТ ВЧ (високочастотних) та НВЧ (надвисокочастотних) діапазонів в ДП “УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ” (створено систему [1], до якої входять еталонні калібратори потужності, генератори сигналів. Для автоматизації такої системи було використано персональний комп'ютер та маршрутизатор, складові установки поєднані між собою за допомогою мережі Ethernet та USB з'єднань.

Обрані компоненти надають можливість калібрувати ЗВТ для вимірювання ВЧ та НВЧ потужностей в діапазоні частот від 0.1 до 43,5 ГГц та діапазоні потужностей від -130 до +30 дБм. Генератори сигналів (Rohde&Schwarz SMF100a 0.1 ГГц – 43,5 ГГц SMF100a 0,1 – 22 ГГц, для розширення діапазону потужності можливо використовувати підсилювач Rohde&Schwarz BBA150, Маршрутизатор ASUS wl-520gu використовується для керування генераторами сигналів через локальну мережу Ethernet.

Для автоматизації процесу вимірювань було розроблено програмне забезпечення для персонального комп'ютера на мові Python. Для розробки використовувалось середовище розробки PyCharm, були застосовані такі бібліотеки, як: Tkinter [2], Pandas[3], RsInstrument[4].

Структурну схему установки представлено на рисунку 1.

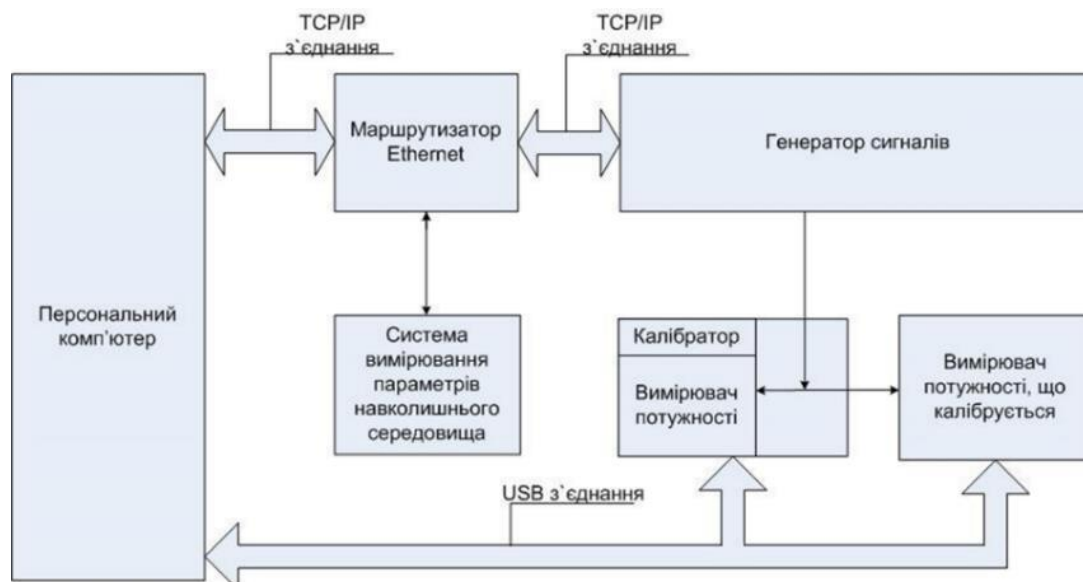


Рисунок 1 – Структурна схема автоматизованої установки для калібрування вимірювачів НВЧ потужності

Склад автоматизованої установки для калібрування вимірювачів НВЧ потужності:

- 1) Персональний комп'ютер
- 2) Генератор сигналів (Rohde&Schwarz SMF100A 1 ГГц – 43,5 ГГц, SMF100A 1 – 22 ГГц)
- 3) Система вимірювання параметрів навколишньої середовища (Атмосфера – 1)
- 4) Маршрутизатор (ASUS WL-520GU)
- 5) Вимірювач потужності, що калібрується (DUT)
- 6) Калібратор (КПК – 18, КПК – 40 на базі вимірювачів потужності NRP Z-51, NRP Z – 55 та розгалуджувача потужності, який ділить сигнал на два виходи)

Зовнішній вигляд установки зображено на рисунку 2.

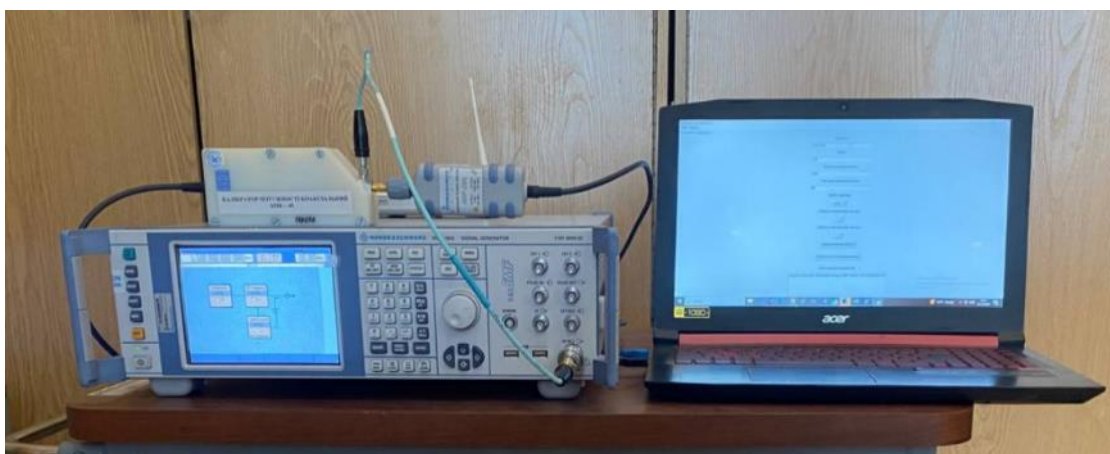


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд автоматизованої установки для калібрування НВЧ ватметрів

Основні метрологічні характеристики розробленої автоматизованої системи представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметр	Значення
Частотиний діапазон, ГГц	Від 0,1 до 43,5
Динамічний діапазон, дБм	Від -130 до 30
Невизначеність калібрування, дБ	Від 0,01 до 1 ГГц – 0,017
	Від 1,25 до 10 ГГц – 0,033
	Від 10,25 до 18 ГГц – 0,043

ВИСНОВОК

У статті представлено автоматизовану установку калібрування вимірювачів НВЧ потужності, описаний склад установки, представлена структурна схема установки, зовнішній вигляд та метрологічні характеристики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] О.М. Величко, В.В. Гаман, С.М. Курсін. Особливості калібрування вимірювачів потужності високих і надвисоких частот. *Ukrainian Metrological Journal*, 2022, No 2, 9-14 DOI: 10.24027/2306-7039.2.2022.263724
- [2] Tkinter — Python interface to Tcl/Tk. - Режим доступу: <https://docs.python.org/uk/3/library/tkinter.html>
- [3] About pandas – Режим доступу: <https://pandas.pydata.org/about/index.html>
- [4] RsInstrument 1.90.0 – Режим доступу:

УДК 389.001

А.В. Бачинський¹, студент гр. ПМ-31мп, к.т.н. старший дослідник Курсін С.М.²

¹КПІ ім. Ігоря Сікорського, ²ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПРИ КАЛІБРУВАННІ ВИМІРЮВАЧІВ ПОТУЖНОСТІ

Анотація. Представлені матеріали, що описують результати дослідження температурних залежностей при калібрування вимірювачів потужності.

Ключові слова: Бюджет невизначеності, калібрування, ЗВТ

ВСТУП

Дослідження температурних залежностей показів ЗВТ є важливою складовою забезпечення точності та надійності калібрувального процесу. Дослідження надає змогу визначити вплив на метрологічні характеристики генераторів сигналів або вимірювачів потужності, таких параметрів як рівень сигналу, температура навколишнього середовища, що досліджується у цій статті.

МЕТА РОБОТИ

Дослідити вплив температури на результати вимірювань на частотах 1, 10, 17 ГГц, що дасть змогу ідентифікувати відповідні джерела похибок та мінімізувати їх вплив на калібрувальний процес шляхом внесення поправок та врахування невизначеностей.[1]

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вимірювання проводилися за допомогою автоматизованої установки калібрування вимірювачів НВЧ потужності протягом 140 хвилин, параметри навколишнього середовища фіксувалися за допомогою ПТК Атмосфера – 1. Вимірювання проводилися на частотах 1, 10 та 17 ГГц вимірювачами потужності Rohde&Schwarz NRP-Z51 та NRP-Z21, що мають різні типи вимірювальних перетворювачів, термальний та діодний відповідно [2, 3].

Був створений скрипт у програмному середовищі Python, що надає змогу записувати дані результатів вимірювання у табличні файли з розширенням .xlsx, що створюється автоматично після циклу роботи автоматизованою установкою калібрування вимірювачів НВЧ потужності, та вираховувати коефіцієнт Пірсона на основі отриманих результатів.

На рисунку 1 представлено результати вимірювань на частоті 1 ГГц.

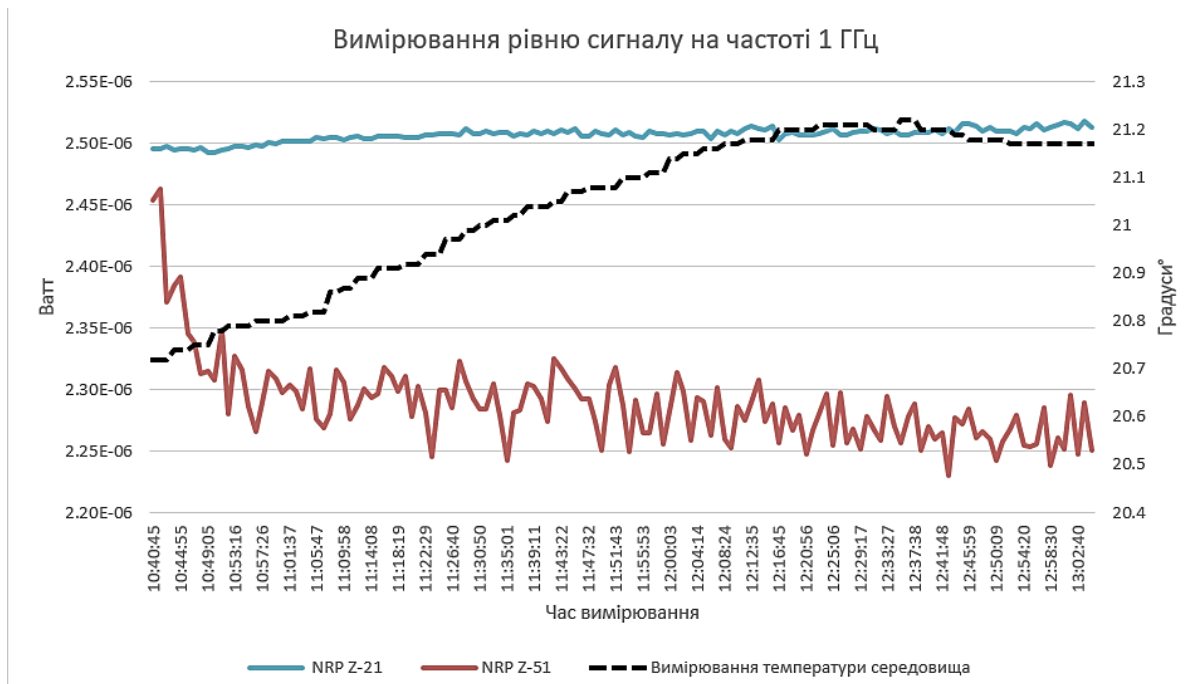


Рисунок 1 – Вимірювання рівню сигналу на частоті 1 ГГц

На рисунку 2 представлено результати вимірювань на частоті 10 ГГц.

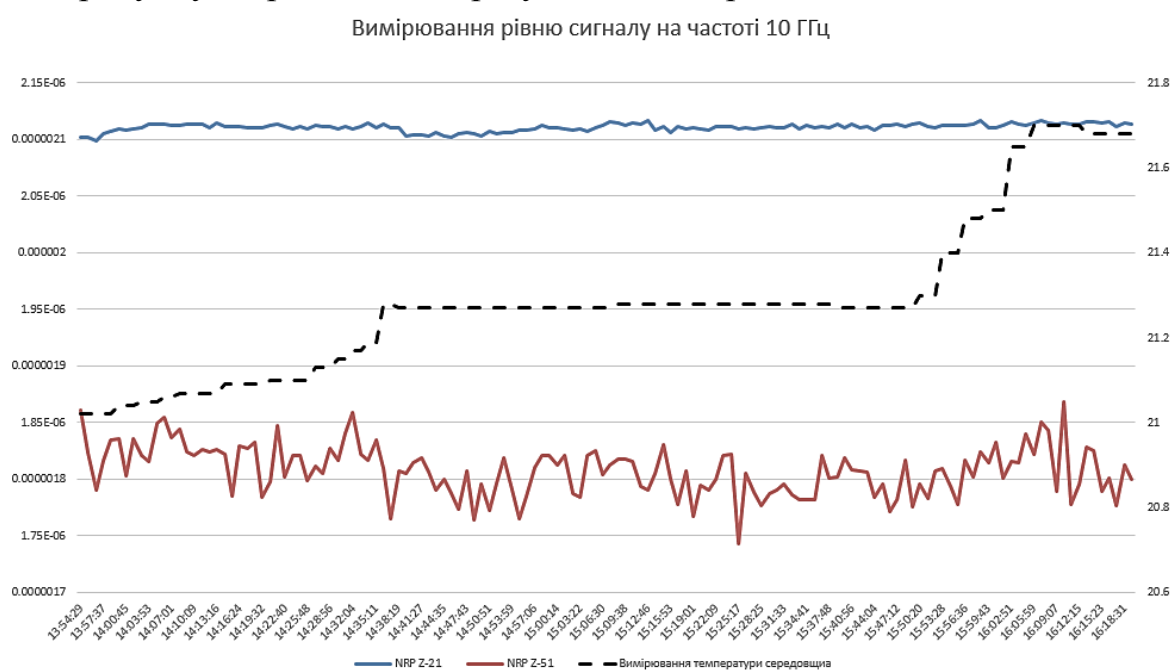


Рисунок 2 – Вимірювання рівню сигналу на частоті 10 ГГц

На рисунку 3 представлені результати вимірювань на частоті 17 ГГц.

Було прораховано коефіцієнт кореляції Пірсона для результатів вимірювань на частотах 1, 10, 17 ГГц, а саме: залежності результатів вимірювань обох сенсорів від параметру температури, де наближення до одиниці по модулю означає сильну ступінь кореляції, а наближення до нуля – відсутність кореляції.

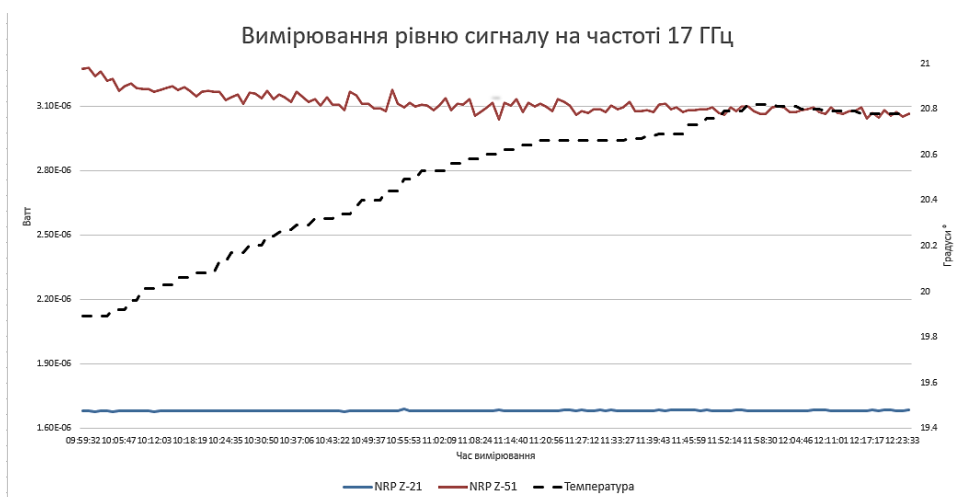


Рисунок 3 – Вимірювання рівню сигналу на частоті 17 ГГц

У таблиці 1 подані значення кореляції Пірсона для результатів вимірювання сенсорів NRP-Z21 та NRP-Z51.

Таблиця 1 Значення кореляції Пірсона для результатів вимірювання сенсорів NRP-Z21 та NRP-Z51.

Кореляції Пірсона	Частота сигналу		
	1 ГГц	10 ГГц	17 ГГц
NRP-Z21 та температура	0,81	0,4	0,45
NRP-Z51 та температура	-0,62	-0,10	-0,87

Проаналізувавши дані з таблиці 1, приходимо до висновку, що результати вимірювань сенсору NRP-Z21 більше залежать від температури, ніж результати вимірювань сенсору NRP-Z51 в нижній частині діапазону частот. Таким чином при калібруванні на цих частотах як еталон доцільно використовувати NRP-Z51.

Для результатів вимірювань на частотах 1, 10 та 17 ГГц були розраховані температурні коефіцієнти (1)

$$\alpha_i = \frac{W_1 - W_2}{W_1 \cdot (t_1 - t_2)}, \quad (1)$$

де W_1 – значення потужності на початку діапазону зміни температури, W_2 – значення потужності на кінці діапазону зміни температури, t_1 – значення температури на початку діапазону, t_2 – значення температури на кінці діапазону. Температурний коефіцієнт для результатів вимірювань на частотах представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 Температурні коефіцієнти в дБ/К

Температурні коефіцієнти	Частота сигналу		
	1 ГГц	10 ГГц	17 ГГц
NRP-Z21, дБ/К	0,00757	0,00124	0,00153
NRP-Z51, дБ/К	0,00512	0,00975	0,01125

На рисунку 4 зображено фрагмент зі розробленого коду, що дозволяє

зчитувати дані файл формату `xlsx`, для отримання значень коефіцієнту кореляції Пірсона.

```
4 file_path = 'C:\\Users\\Andrey\\dist\\measure\\1234.xlsx'  
5 df = pd.read_excel(file_path)  
6 column1 = df['Частота1']  
7 column2 = df['Частота2']  
8 correlation_coefficient, _ = pearsonr(column1, column2)  
9 print(f'Коефіцієнт кореляції: {correlation_coefficient}')
```

Рисунок 4 – фрагмент коду програми

Використовуючи функцію `df = pd.read_excel(file_path)`, отримуємо доступ до файлу `.xlsx`, місце збереження якого зазначається у «`file_path =`», `column1` та `column2` визначають, з яких стовбців у файлі `.xlsx` будуть зчитуватись дані, а команда `pearsonr(column1, column2)` автоматично вираховує коефіцієнт Пірсона з обраних стовбців, кількість значень в стовбцях для підрахунку необмежена.

ВИСНОВОК

Були досліджені залежності результатів вимірювань сенсорів NRP-Z21 та NRP-Z51 від температури, розраховані коефіцієнти кореляції Пірсона для результатів вимірювань на частотах 1, 10, 17 ГГц. Проаналізувавши отримані результати, можемо зробити висновок, що сенсор NRP-Z51 більше підходить для проведення вимірювань, адже температура впливає на нього менше ніж на NRP-Z21. Розраховані температурні коефіцієнти, значення яких можна використовувати для уточнення результатів калібрування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] О.М. Величко, В.В. Гаман, С.М. Курсін. Особливості калібрування вимірювачів потужності високих і надвисоких частот. *Ukrainian Metrological Journal*, 2022, No 2, 9-14 DOI: 10.24027/2306-7039.2.2022.263724
- [2] Power Sensor R&S NRP-Z51 – Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/TI_NRP-Z51.pdf
- [3] Power Meter R&S NRP – Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.testequipmenthq.com/datasheets/Rohde-Schwarz-NRP-Z21-Datasheet.pdf>

Наук. керівник – д.т.н., професор, Володарський Є.Т.

УДК 620.179

*В.Р. Бережок, студент групи ПІ-з31мп, д.т.н., проф. Єременко В.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ

Анотація. У роботі розглянуто розробку ультразвукового засобу для визначення міцності бетону, що актуально у будівельній галузі для забезпечення надійності та безпеки конструкцій. Дослідження присвячено створенню методу для оцінки властивостей бетону без руйнування його структури, що є важливим завданням у сучасному будівництві та реконструкції.

Ключові слова: ІВС, міцність бетону, ультразвуковий метод, контроль

ВСТУП

Сучасний розвиток будівельної індустрії потребує високих стандартів якості та надійності використовуваних матеріалів [1]. Одним із ключових матеріалів у будівництві є бетон, який застосовується для створення фундаментів, стін, перекриттів та інших конструктивних елементів. Міцність бетону є критичним показником його якості, що впливає на безпеку і довговічність будівель. Тому питання визначення міцності бетону на ранніх стадіях його твердіння та протягом експлуатації набуває особливої актуальності.

Традиційні методи випробувань бетону [2,3], такі як розривні випробування зразків, є трудомісткими, потребують значної кількості матеріалу та не дозволяють проводити контроль на місці будівництва без руйнування конструкцій. У зв'язку з цим, виникає потреба у впровадженні нових підходів до вимірювання міцності бетону, які забезпечують високу точність, оперативність і можливість безруйнівного контролю.

МЕТА РОБОТИ

Метою дослідження є створення автоматизованої системи, яка дозволить здійснювати безперервний моніторинг процесу твердіння бетону, підвищуючи тим самим ефективність будівельного контролю, зменшуючи ризик виникнення помилок у прогнозуванні якості кінцевого продукту, а також підвищуючи метрологічні характеристики вимірювань. Таким чином, у роботі приділяється особлива увага розробці алгоритмів обробки даних, вибору відповідних сенсорних елементів і створенню програмного забезпечення, що забезпечить інтеграцію вимірювальної системи з іншими елементами автоматизації будівельних процесів, а також підвищенню метрологічних характеристик вимірювань, що є ключовим фактором для забезпечення високої точності та надійності оцінки міцності бетону.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рис. 1 представлено структурна схема інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) визначення міцності бетону, тобто відображення основних елементів системи, які забезпечують функціонування процесу вимірювання міцності бетонних конструкцій. Ця схема показує структуру системи, її складові компоненти та їхні зв'язки між собою, а також основні потоки даних та сигналів.

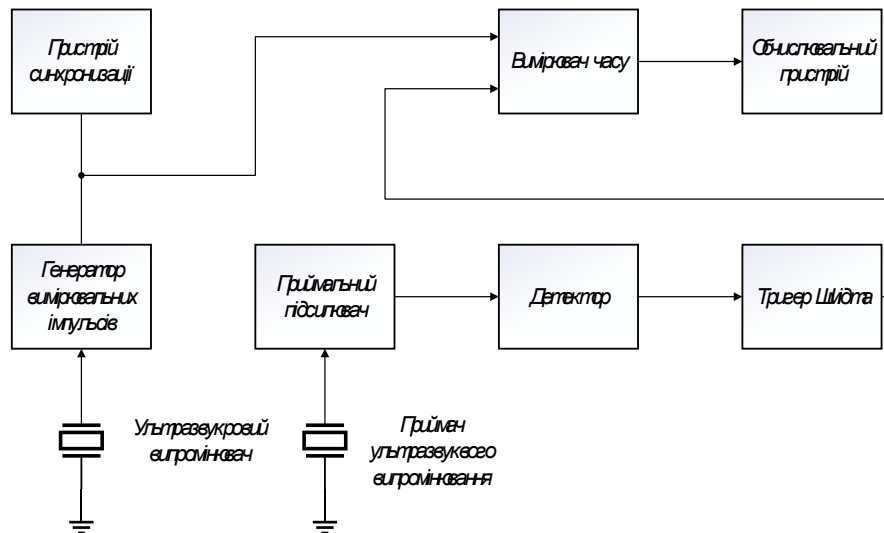


Рисунок 1. Структурна схема ультразвукового вимірювача міцності бетону

Алгоритм роботи системи наступний: спочатку за допомогою відповідного генератора генерується вимірювальний імпульс і передається на ультразвуковий передавач. Приймальний підсилювач підсилює отриманий від датчика сигнал на певний коефіцієнт. Сповіщувач випромінює на своєму виході імпульсний сигнал, який отримується шляхом порівняння фактичного значення напруги на його вході з певним рівнем напруги. Тригери Шмітта мінімізують помилки, викликані випадковими стрибками напруги.

Вимірювач тривалості імпульсу видає у вигляді коду різницю між часом, коли імпульс надсилається на передавач, і часом, коли надходить ультразвуковий сигнал. Обчислювальний пристрій виконує математичні розрахунки і відображає конкретні значення міцності на електронному цифровому табло [4].

Ультразвуковий метод (ДСТУ Б В.2.7–226:2009) базується на взаємозв'язку між міцністю бетону та швидкістю проходження ультразвукових хвиль. Ультразвукові коливання («швидкість ультразвуку») вимагають знання часу, необхідного для проходження ультразвукових хвиль через певний проміжок часу, цей проміжок називається батиметричною основою.

Швидкість ультразвукових хвиль (v), виражена в м/с, визначається за формулою:

$$v = \frac{L}{T} \cdot 10^3, \quad (1)$$

де T — час проходження ультразвукової хвилі, мкс;

L — відстань між центрами встановлення перетворювачів (бази вимірювання глибини), мм.

Під час вимірювання часу поширення ультразвукових хвиль за допомогою методу поверхневої батиметрії ультразвуковий перетворювач монтується з одного боку конструкції чи досліджуваного зразка.

Коефіцієнт переходу (K), який дозволяє перейти від швидкості ультразвукової хвилі до швидкості виявлення поверхні. Час поширення ультразвуку в зразку бетону можна виміряти використовуючи постійне фундаментальне пропускання щонайменше 120 мм і зондування поверхні.

Коефіцієнт переходу (K) визначається як середнє арифметичне значення коефіцієнтів K_i для всіх вимірювань:

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (2)$$

де n — кількість вимірювань.

K_i — значення коефіцієнта переходу, обчислене для кожного i -го зразка за формулою:

$$K_i = \frac{v_i}{v_{i,пов}}. \quad (3)$$

$v_{i,пов}$, v_i середні значення швидкостей ультразвукових хвиль для i -го зразка при наскрізному та поверхневому способах прозвучування відповідно;

n — загальна кількість призм, використаних для визначення коефіцієнта переходу K .

Значення міцності бетону визначають з градаційної залежності, встановленої для бетону, відмінного від досліджуваного, помноженої на коефіцієнт K_c , який розраховується за такою формулою:

$$K_c = \frac{\sum f_i}{\sum f_{i,v}}, \quad (4)$$

де f_i — міцність бетону на ділянці, визначена методом відриву стружки або методом випробування керна згідно з ДСТУ Б В.2.7-214;

$f_{i,v}$ міцність бетону, виміряна ультразвуковим імпульсним методом;

n — кількість граф, допустимо не менше 3.

На рис. 2 наведені графіки градувальних залежностей до та після коригування

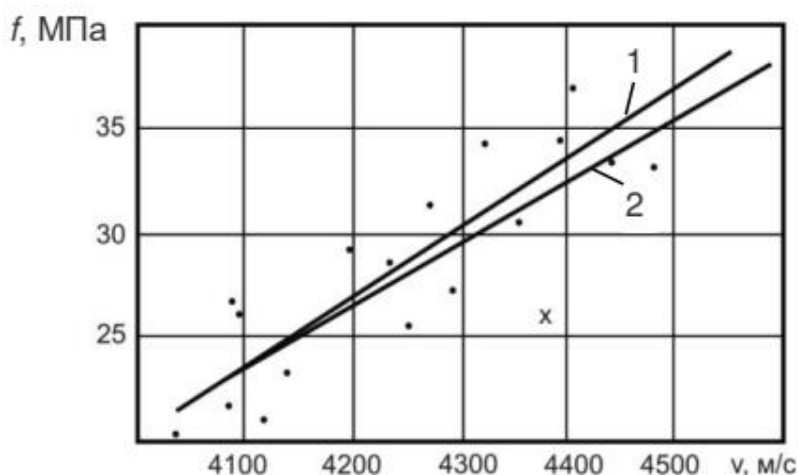


Рисунок 2. Графіки градувальних залежностей: 1 — первинна градувальна залежність до відбракування; 2 — скоригована градувальна залежність після відбракування; x — відбраковані результати випробувань

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено структурну та функціональну схему інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), призначеної для точного та оперативного визначення міцності бетонних конструкцій. Запропонована схема забезпечує комплексний підхід до автоматизації процесу вимірювання, обробки та аналізу даних про стан матеріалу. Було визначено основні компоненти ІВС, їхні функції

та взаємодію між собою, що дозволяє ефективно інтегрувати систему в загальну технологію контролю якості бетону на різних етапах його експлуатації.

Система включає в себе датчики, пристрої збору та обробки даних, а також програмне забезпечення для аналізу отриманих результатів. Така схема дозволяє підвищити точність і надійність вимірювань, зменшити трудомісткість і оперативно виявляти відхилення від нормативних значень. Розроблена ІВС має гнучку структуру, що дозволяє адаптувати її під різні вимоги та умови використання, а також інтегрувати в існуючі інформаційні системи управління будівельними об'єктами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Гоц В. І. Вилуговування базальтового волокна різних модифікацій / В. І. Гоц, П. П. Пальчик, С. П. Шпера, О. Ю. Рєзнік // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – 2010. – Вип. 2010. – С. 17-22.
- [2] Дворкін Л.Й. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія / Рівне: НУВГП, 2017. – 332 с.
- [3] Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1- 2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1- 2:2004, IDT+ NA:2013). – Київ : Мінрегіон України. – 2013. – 132 с.
- [4] Abbas U. Materials Development of Steel-and Basalt FiberReinforced Concretes // Norwegian University of Science and Technology. – 2013. – 162 p.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Єременко В.С.

УДК 53.08

*Л.В. Брацлавська, студентка гр. ПІ-31мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ВПЛИВ ВИПАДКОВИХ ПОХИБОК НА ПРОЦЕС ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ВІДПОВІДНОСТІ

Анотація. Процес оцінювання відповідності має важливе значення для забезпечення якості продукції та процесів. У роботі розглянуто вплив випадкових похибок на точність прийняття рішень, зокрема їхній вплив на помилки першого (хибна відмова) та другого (невизначена відмова) роду. Описано шляхи мінімізації цих помилок, зокрема через оптимізацію уставок, додаткові перевірки та автоматизацію процесів. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення систем контролю якості в умовах невизначеності.

Ключові слова: випадкові похибки, помилки першого роду, помилки другого роду, уставки, оцінювання відповідності, автоматизація, контроль якості.

ВСТУП

Сучасні системи контролю якості стикаються з викликом впливу випадкових похибок, які можуть значно змінювати результати оцінювання відповідності. Це особливо критично у виробничих процесах, де помилкові рішення впливають як на ефективність, так і на економічні показники. Головна проблема полягає у мінімізації ризиків хибних рішень при оцінюванні відповідності об'єкта заданим критеріям. У цьому контексті важливим є теоретичний аналіз впливу похибок та розробка практичних методів їх мінімізації.

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ВИПАДКОВИХ ПОХИБОК НА ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ

Випадкові похибки є невід'ємною складовою будь якого процесу вимірювання. Їх виникнення обумовлене впливом різноманітних зовнішніх і внутрішніх чинників, які є непередбачуваними за своєю природою. До таких чинників можна віднести коливання температури, нестабільність характеристик вимірювального обладнання, а також неоднорідність матеріалів, які підлягають дослідженню. Усі ці фактори сприяють розсіюванню отриманих результатів навіть за умов стабільного середовища вимірювання. Основною особливістю випадкових похибок є їхній хаотичний характер, який проявляється у відсутності систематичності відхилень результатів вимірювань.[1]

Під впливом цих похибок значення вимірюваного параметра може випадково змінюватися, що ускладнює процес точного визначення його дійсного значення. Випадкові похибки не можна усунути повністю, проте їхній вплив можна мінімізувати шляхом підбору відповідного обладнання, вдосконалення методик вимірювання та врахування статистичних характеристик отриманих даних.

У контексті оцінювання відповідності випадкові похибки вимірювань значно ускладнюють процес прийняття рішень, оскільки можуть призводити до двох основних видів помилок. Помилка першого роду, відома як хибна відмова, виникає у випадках, коли об'єкт, що відповідає всім встановленим вимогам, помилково визнається непридатним. Це призводить до необґрунтованих виробничих витрат, додаткових перевірок або навіть відбракування відповідної

продукції.

Помилка другого роду, відома як невизначена відмова, має зворотний характер: об'єкт, який не відповідає встановленим вимогам, помилково визнається придатним. Така ситуація є небезпечною, особливо у критичних галузях, де випуск продукції неналежної якості може спричинити значні ризики для споживачів і негативно вплинути на репутацію виробника. [2]

Загалом, вплив похибок вимірювань на прийняття рішень не можна ігнорувати, оскільки він визначає якість та ефективність систем оцінювання відповідності.

Зменшення негативного впливу випадкових похибок на прийняття рішень можливе завдяки використанню кількох ключових підходів. Одним із них є оптимізація уставок, яка передбачає впровадження додаткових зон уточнення, де проводяться додаткові перевірки для параметрів, що знаходяться поблизу встановлених граничних значень. Це дозволяє знизити ймовірність прийняття помилкових рішень.

Уставки — це допустимі межі параметра, які визначають відповідність об'єкта. Стандартний допусковий інтервал має вигляд:

$$R = [x_n, x_v],$$

де x_n — нижня межа, x_v — верхня межа.

Для врахування випадкових похибок вводять розширені зони допуску:

$$R_{\text{розш}} = [x_n', x_v'],$$

де $x_n' = x_n - \Delta x$, а $x_v' = x_v - \Delta x$.

Об'єкти, параметри яких потрапляють у розширену зону ($[x_n'; x_n]$ або $[x_v'; x_v]$), піддаються додатковому аналізу.

Додаткові перевірки також є ефективним методом зменшення впливу похибок. У випадках, коли результат вимірювання є сумнівним, повторне дослідження об'єкта з використанням тієї ж або іншої методики може забезпечити більш точні результати.

Автоматизація процесів оцінювання відповідності, зокрема використання адаптивних алгоритмів, дозволяє приймати рішення на основі накопичених даних. Цей підхід забезпечує динамічну адаптацію процесу оцінювання до умов вимірювання та підвищує загальну точність системи.

Урахування впливу випадкових похибок на процес прийняття рішень та впровадження методів їх мінімізації має значний практичний потенціал. Зокрема, це дозволяє зменшити виробничі втрати, підвищити точність контролю та зменшити ризики для споживачів продукції. [3]

ВИСНОВОК

Випадкові похибки є важливим фактором, який впливає на точність процесу оцінювання відповідності. Для мінімізації їхнього впливу необхідно використовувати методи оптимізації уставок, автоматизацію процесів та повторні перевірки. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення математичних моделей і систем автоматизації, які враховують специфіку кожного виробничого процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Теорія похибок [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ужва В. І., Пугач О. В. – Електронні текстові дані (1 файл: 525,19 Кбайт). – Київ, 2017. – 12 с. – Назва з екрана.
- [2] Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 522 с.
- [3] ГОСТ ISO 9001:2015 "Системи управління якістю. Вимоги".

Наук. керівник – д.т.н., проф. Володарський Є.Т.

УДК 004.738

Н. О. Булавко, студент гр. ПІ-31мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТОКОЛІВ ESP-NOW, BLUETOOTH, WI-FI ДЛЯ ОБМІНУ ДАНИХ МІЖ ПРИСТРОЯМИ ІОТ

Анотація. У статті розглянуто та представлено результати порівняння ефективності протоколів ESP-NOW, Bluetooth, Wi-Fi для передачі даних у пристроях IoT із застосуванням відлагоджувальних плат ESP32-C6 Zero на прикладі підключення «точка-точка» з використанням показників: дальності, швидкості передачі, затримки при передачі, енергоспоживанню та стійкості до перешкод без використання зовнішніх антен. Додатково наведено короткий аналіз кожного протоколу.

Ключові слова: ESP32, IoT, інтернет речей, ESP-NOW, Bluetooth, Wi-Fi, ефективність, аналіз.

ВСТУП

Застосування пристроїв, що використовують інтернет речей (далі – IoT) у промисловості та побуті стрімко зростає. За оцінками, до кінця 2025 року, загальна кількість активних пристроїв сягне 1,6 трильйона, генеруючи при цьому величезні обсяги даних [1]. Принцип IoT базується на взаємодії вбудованих пристроїв, що мають бути підключені між собою, використовуючи мережеві протоколи та котрі здатні ефективно збирати, зберігати, опрацьовувати, здійснювати обмін даних з мінімальним енергоспоживанням. Зазвичай, для обміну даних між IoT-пристроями використовуються такі протоколи, як Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, RFID, а також пропріетарні, наприклад, ESP-NOW, що розроблений компанією Espressif [2], [3].

Важливою характеристикою при обміні даних є якість зв'язку, що залежить від наступних факторів: затримки при обміні даних, пропускну здатності, енергоспоживання, максимальної можливої відстані, надійності та стійкості сигналу до перешкод. У цій статті проведено порівняння таких протоколів безпроводного зв'язку, як ESP-NOW, Bluetooth, Wi-Fi за вищенаведеними факторами якості зв'язку. Тестування проводилось за однакових умов із використанням вбудованих антен на відлагоджувальних платах ESP32-C6 Zero.

ОГЛЯД ПРОТОКОЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

ESP-NOW – це пропріетарний протокол безпроводного зв'язку, що дозволяє двом або більше пристроям обмінюватись даними, використовуючи програмну надбудову над протоколом Wi-Fi, що підтримує одноранговий зв'язок без необхідності, за замовчуванням, встановлення «рукоштовання» між приймачем та передавачем після встановлення підключення. ESP-NOW підтримує також зашифрований канал зв'язку, з можливістю надсилати пакет даних за короткий час, з максимальним розміром пакету до 250 байт. Даний протокол підтримується лише на відлагоджувальних платах, що використовують мікроконтролери сімейства ESP32, що виробляються компанією Espressif [3].

Wi-Fi або Wireless Fidelity - це протокол, що реалізує собою набір стандартів бездротового зв'язку в локальних мережах, що базується на стандарті IEEE 802.11. Протокол Wi-Fi функціонує на основі радіохвиль у неліцензованих частотних діапазонах 2.4 ГГц (IEEE 802.11b/g/n) та 5 ГГц (IEEE 802.11ac), а з впровадженням стандарту Wi-Fi 6E (IEEE 802.11ax) – також у діапазоні 6 ГГц.

Передача даних здійснюється за допомогою різних методів модуляції, включаючи OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) та MIMO (Multiple Input Multiple Output) [4].

Bluetooth - це протокол бездротового зв'язку короткого радіусу дії, що забезпечує обмін даними між пристроями на невеликих відстанях. Протокол розроблений як специфікація IEEE 802.15.1 та підтримується Bluetooth Special Interest Group (SIG). Bluetooth функціонує в неліцензованому діапазоні ISM (Industrial, Scientific, Medical) 2.4-2.485 ГГц, використовуючи метод розширення спектру зі стрибкоподібною перебудовою частоти [5].

АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ



Рисунок 1. Зовнішній вигляд відлагоджувальної плати ESP32-C6 Zero

Для порівняльного аналізу ефективності протоколів обрано відлагоджувальну плату ESP32-C6 Zero, що використовує мікроконтролер 32-розрядний мікроконтролер ESP32-C6FH4 архітектури RISC-V, що підтримує протоколи передачі IEEE 802.11b/g/n (2.4 ГГц), IEEE 802.15.1 (Bluetooth 5.2 та Bluetooth Low Energy) та ESP-NOW [6].

Для вимірювання швидкості, пропускної здатності та максимальної дальності сигналу із використанням вищезгаданих протоколів, було використано дві відлагоджувальні плати ESP32-C6 Zero, кожна з котрих має вбудовану антену, що виконана у вигляді SMD-компонента. Зовнішній вигляд відлагоджувальної плати наведено на Рисунку 1.

Для вимірювання затримки було використано кнопку, що підключена до загального порту вводу-виводу. Після натиснення кнопки – переривання в програмному коді ініціює таймер як в платі-приймачі, так і в платі-відправнику, надсилає пакет даних, перемикаючись між протоколами та після завершення обміну даних – зупиняє таймер, після чого здійснює обчислення тривалості обміну даних кожного з протоколів як різницю часу закінчення обміну та часу початку обміну. Компонування електричної схеми вимірювання затримки сигналу наведено на Рисунку 2.

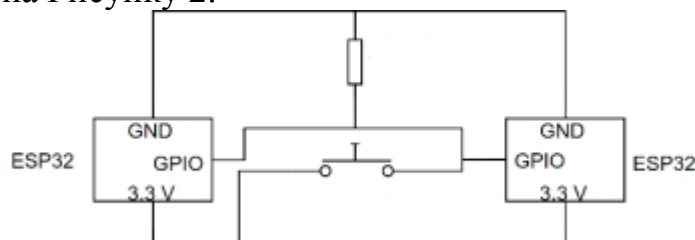


Рисунок 2 – Компонування електричної схеми вимірювання затримки сигналу

Для вимірювання споживання електроенергії та неперервної фіксації значень падіння напруги – використано додаткову відлагоджувальну плату ESP32-C6 Zero з програмним кодом, що обраховує споживану потужність двох

відлагоджувальних плат, що наведені на Рисунку 2 через падіння напруги за законом Ома та записує ці значення кожні 10мс в послідовний порт. Також застосовано обмежувальний резистор номіналом в 100 Ом, що з'єднаний між контактами 3.3V та GND відлагоджувальних плат, що наведені на Рисунку 2.

РЕЗУЛЬТАТИ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТОКОЛІВ

Для порівняльного аналізу ефективності кожного з протоколів було проведено 50 вимірювань. Результати середньозважених результату вимірювань для проведення порівняльного аналізу ефективності протоколів наведені на Рисунку 3, 4, 5, 6, 7.

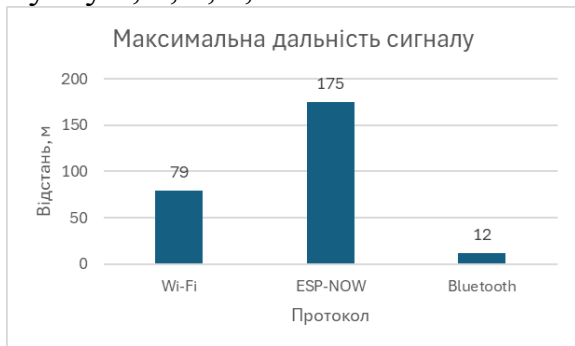


Рисунок 3 – Максимальна дальність сигналу на відкритій місцевості

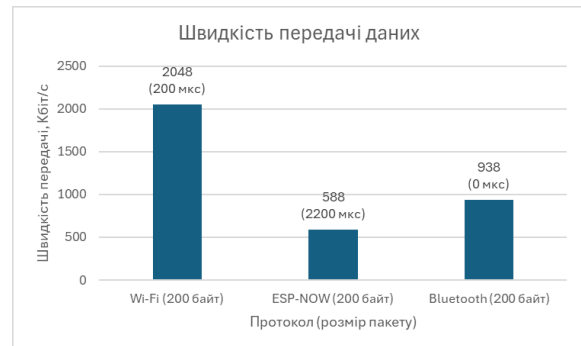


Рисунок 4 – Швидкість передачі даних та значення затримки для пакету даних розміром в 200 байт

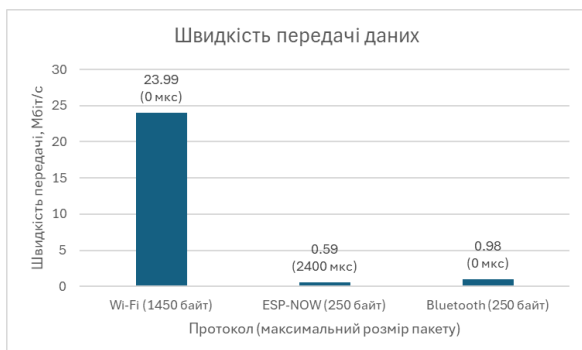


Рисунок 5 – Швидкість передачі даних та значення затримки з максимально можливим розміром пакету даних

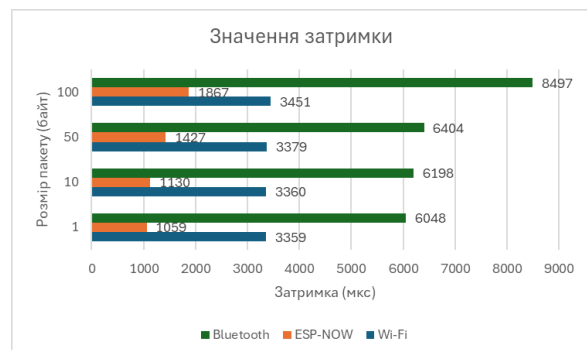


Рисунок 6 – Значення затримки при обміні пакетів даних розміром 1, 10, 50 та 100 байт для відстані в 1м між відправником та отримувачем

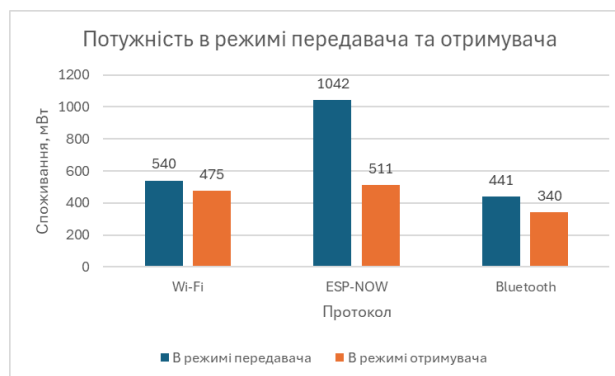


Рисунок 7 – Значення потужності в режимі передавача та отримувача

ВИСНОВОК

За результатами проведеного порівняльного аналізу не можна стверджувати, що певний протокол передачі даних переважає інший за факторами якості зв'язку. Тільки детальне технічне завдання дозволить обрати найкращий, за факторами якості зв'язку, протокол, що реалізує усі вимоги. Вибір протоколу Wi-Fi та ESP-NOW для зв'язку між IoT-пристроями дозволяє подолати перешкоди такі, як залізобетонні стіни. У випадку застосування Wi-Fi – з'являється можливість здійснювати обмін даних на високій швидкості. Для ESP-NOW – важливим показником є низька затримка сигналу. Проте обидва цих протокола не можуть оптимальним вибором, якщо необхідно забезпечити тривалий час роботи IoT-пристрою від акумулятора через низьку енергоефективність при передачі та прийому даних та передавати великі за розміром пакети даних через залежність затримки від розміру пакету даних. Водночас, протокол Bluetooth має низьке енергоспоживання для зв'язку між IoT-пристроями, що робить його оптимальним для використання в пристроях, котрі розроблені для тривалої роботи від акумулятора за умови відсутності таких перешкод, як залізобетонні стіни та за відсутності необхідності в низькій затримці для обміну даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] IoT market size worldwide 2017-2025 | Statista. Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/976313/global-iot-market-size/> (дата звернення: 01.11.2024).
- [2] Sen S., Koo J., Bagchi S. TRIFECTA: Security, Energy-Efficiency, and Communication Capacity Comparison for Wireless IoT Devices. IEEE Internet Computing. 2018. С. 74. URL: <https://arxiv.org/abs/1712.01214> (дата звернення: 01.11.2024).
- [3] ESP-NOW Wireless Communication Protocol | Espressif Systems. Wireless SoCs, Software, Cloud and AIoT Solutions | Espressif Systems. URL: <https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now> (дата звернення: 01.11.2024).
- [4] Discover Wi-Fi. Wi-Fi Alliance. URL: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi> (дата звернення: 02.11.2024).
- [5] Specifications | Bluetooth® Technology Website. Bluetooth® Technology Website. URL: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/> (дата звернення: 02.11.2024).
- [6] ESP32-C6-Zero - Waveshare Wiki. Waveshare Electronics. URL: <https://www.waveshare.com/wiki/ESP32-C6-Zero> (дата звернення: 03.11.2024).

Наук. керівник – к.т.н., доц. Мокійчук В.М.

УДК 004.62

Н. О. Булавко, студент гр. ПІ-31мп, к.т.н., доц. Мокійчук В. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКА BME280 ЗА ДОПОМОГОЮ OPENWEATHERMAP

Анотація. У статті розглянуто принцип калібрування датчика BME280 за допомогою програмного інтерфейсу OpenWeatherMap, що надає метеорологічні дані з декількох метеостанцій, що знаходяться найближче за заданих користувачем географічних координат.

Ключові слова: BME280, OpenWeatherMap, калібрування.

ВСТУП

У сучасному світі точність вимірювань набуває все більшого значення для різноманітних галузей датчик BME280, що використовується для вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску, потребує належного калібрування для забезпечення достовірності отриманих даних.

Відповідно до вимог стандарту ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 «Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій», калібрування вимірювальних приладів є критично важливим процесом, що забезпечує:

- простежуваність вимірювань до міжнародних еталонів;
- визначення систематичної похибки вимірювань;
- оцінку невизначеності вимірювань;
- документування процедури калібрування та її результатів [1].

У цьому контексті використання даних OpenWeatherMap як джерела для калібрування датчика BME280 представляє собою інноваційний підхід, який дозволить проводити регулярне порівняння показань датчика з верифікованими метеорологічними даними та автоматизувати процес калібрування.

ОГЛЯД ДАТЧИКА BME280 ТА СЕРВІСУ OPENWEATHERMAP

BME280 – це комбінований датчик для вимірювання температури, відносної вологості та атмосферного тиску, що розроблений та виготовляється компанією Bosch Sensortec.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд датчика BME280

Температурний сенсор має низький рівень шуму та високу роздільну здатність, сенсор відносної вологості та атмосферного тиску має низьку інерцію, що робить вибір цього датчика оптимальним для застосування в метеорологічних станціях, системах для контролю навколишніх параметрів та моделей прогнозування зміни навколишніх параметрів. Для комунікації з мікроконтролером або іншим пристроєм – датчик оснащений інтерфейсами I²S та SPI та перевірку контрольної суми для

забезпечення цілісності передачі даних [2]. Зовнішній вигляд датчика наведений на Рисунку 1, а техніко-метрологічні характеристики наведені у Таблиці 1.

Таблиця 1. Техніко-метрологічні характеристики ВМЕ280

Техніко-метрологічна характеристика	Значення
Напруга споживання, В	[1.7, 3.6]
Струм споживання, мКА	[1.8, 3.6]
Діапазон робочих значень: °C, RH%, гПа	[-40, 85], [0, 100], [300, 1100]
Точність вимірювання: °C, RH%, гПа	±1, ±3, ±1

OpenWeatherMap (далі – OWM) – це онлайн-сервіс, який надає широкий спектр метеорологічних даних та прогнозів погоди через програмний інтерфейс API. Платформа збирає та обробляє дані з понад 40,000 метеостанцій по всьому світу [3].

ПРИНЦИП КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКА ВМЕ280 ЗА ДОПОМОГОЮ OPENWEATHERMAP

Процес калібрування датчика ВМЕ280 реалізовано як комплексну процедуру порівняння та корекції даних. Після ініціалізації системи за допомогою мікроконтролера, ПК чи іншого пристрою, що може здійснювати комунікацію по протоколу I²C або SPI та налаштування базових параметрів, програма/користувач визначає необхідність проведення калібрування. У випадку, коли необхідність калібрування запитана контролюючим пристроєм, переходить у режим збору даних калібрування.

Процедура калібрування базується на псевдо-паралельному зборі даних з двох джерел:

- безпосередньо з датчика ВМЕ280;
- через програмний інтерфейс OWM.

Система накопичує пари вимірювань, що мають складати не менше 30хв, що забезпечить достатню вибірку даних для врахування короткочасних коливань параметрів навколишнього середовища. Після цього, система переходить до розрахунку калібрувальних коефіцієнтів. Процес включає визначення трьох ключових коефіцієнтів:

- коефіцієнт зміщення температури – для корекції систематичної похибки вимірювання температури;
- коефіцієнта відносної вологості – для корекції систематичної похибки вимірювання відносної вологості
- коефіцієнту зміщення тиску – для компенсації відхилень у вимірюваннях атмосферного тиску

Розраховані калібрувальні коефіцієнти зберігаються в системі разом з датою

проведення калібрування. При наступному використанні, під час звичайного режиму роботи, усі вимірювання, отримані з датчика, автоматично коригуються із застосуванням цих коефіцієнтів, що забезпечує підвищену точність показників. Система постійно контролює необхідність повторного калібрування, що дозволяє враховувати можливий дрейф характеристик сенсора з часом та адаптуватися до змін умов експлуатації. У разі виявлення необхідності, процедура калібрування може бути проведена повторно, забезпечуючи тим самим стабільну точність вимірювань протягом всього терміну експлуатації датчика.

ВИСНОВОК

Калібрування датчика BME280 за допомогою OpenWeatherMap є ефективним методом підвищення точності вимірювань, що дозволяє не використовувати високоточне обладнання, де підвищена точність вимірювань – не є критично важливою.

Також розглянуто принцип калібрування датчика, що дозволяє здійснити програмну реалізацію алгоритму на будь-якому пристрою, що має інтерфейси I²C або SPI, що дозволить ініціалізувати датчик та здійснити з ним обмін даних.

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). На заміну ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 (ISO/IEC 17025:2017, IDT) ; чинний від 01.01.2021. 2021. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88724 (дата звернення: 19.11.2024).
- [2] BME280. Combined humidity and pressure sensor. Bosch MEMS Technology | Bosch Sensortec. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf> (дата звернення: 19.11.2024).
- [3] About company - OpenWeather. OpenWeather for business. URL: <https://openweather.co.uk/about> (дата звернення: 19.11.2024).

Наук. керівник – к.т.н., доц. Мокійчук В.М.

УДК 504.064

П.Р. Васюк, студ. гр. ПІ-12

КПІ ім. Ігоря Сікорського

СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ: РОЗРОБКА СИСТЕМ, ОТРИМАНИХ ДАНИХ З ДАТЧИКІВ, РЕЖИМІВ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ТА ПОПЕРЕДЖАТИ АВАРІЇ

Анотація. У даній роботі описуються сучасні виробництва, що потребують ефективних інструментів для забезпечення безперебійної роботи та підвищення продуктивності. Одним з таких інструментів є інтелектуальні системи моніторингу виробничих процесів. Ця стаття присвячена розробці систем, які на основі даних, отриманих з датчиків, дозволяють виявляти відхилення від нормальних режимів роботи обладнання та попереджати про можливі аварії.

Ключові слова: збір та обробка даних датчиків, розробка, алгоритми, аномалії, інтерфейс, інтеграція.

ВСТУП

Сучасний світ виробництва характеризується високими темпами автоматизації та цифровизації. Все більша кількість датчиків інтегрується в обладнання, генеруючи величезні обсяги даних. Однак, сама по собі наявність даних не гарантує ефективного управління виробничими процесами. Для перетворення даних на корисну інформацію необхідні інтелектуальні системи аналізу. Оскільки традиційні системи моніторингу часто не в змозі своєчасно виявити ранні ознаки потенційних в даній роботі пропонується розробити інтелектуальну систему моніторингу, яка, використовуючи методи машинного навчання та аналізу даних, зможе виявляти відхилення від нормальних режимів роботи обладнання на ранніх стадіях. Це дозволить вжити необхідних заходів для запобігання аваріям та забезпечення безперебійної роботи виробництва.

МЕТА РОБОТИ

Мета цього дослідження полягає в розробці та впровадженні інтелектуальної системи моніторингу виробничих процесів, яка дозволить виявляти відхилення, прогнозувати аварії, оптимізувати виробництво, підвищити надійність обладнання та знизити виробничі витрати.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення дослідження необхідні наступні матеріали та ресурси: дані з датчиків, програмне забезпечення, обчислювальні ресурси.

Фактори, що впливають на динаміку результат досліджень:

Наукове дослідження — процес вивчення певного об'єкта (предмета або явища) за допомогою наукових методів, що має на меті встановлення закономірностей його виникнення, розвитку і перетворення в інтересах раціонального використання у практичній діяльності людей. [1] Динаміка результатів досліджень – це складний процес, на який впливає безліч факторів. Фактори можна розділити на кілька груп: зовнішні фактори, фактори, що пов'язані з дослідницьким процесом, з дослідником та об'єктом дослідження.

1. Зовнішні фактори: Соціокультурний контекст:

Культурні норми, суспільні очікування, політична ситуація можуть впливати на вибір теми дослідження, методик збору даних та інтерпретацію

результатів.

2. Фактори, пов'язані з дослідницьким процесом:

Формулювання гіпотези: чітко сформульована гіпотеза є основою для будь-якого дослідження. *Методологія дослідження, Збір даних, Аналіз, Інтерпретація результатів, Публікація результатів.*

3. Фактори, пов'язані з дослідником:

Досвід дослідника: досвід проведення досліджень, знання методик, теоретична підготовка впливають на якість дослідження. *Мотивація:* особиста зацікавленість дослідника у темі дослідження, його мотивація впливають на якість роботи. *Суб'єктивність:* особисті погляди, переконання дослідника можуть вплинути на вибір теми, методик дослідження та інтерпретацію результатів.

4. Фактори, пов'язані з об'єктом дослідження:

Складність об'єкта дослідження: чим складніший об'єкт дослідження, тим складніше отримати точні та достовірні результати. *Динамічність об'єкта дослідження:* якщо об'єкт дослідження швидко змінюється, то результати дослідження можуть швидко стати застарілими.

Приклади: Зміна політичного режиму може призвести до зміни пріоритетів у наукових дослідженнях, що вплине на динаміку результатів. Поява нової технології може відкрити нові можливості для дослідження, але також може вимагати нових знань і навичок від дослідників. Особиста криза дослідника може тимчасово знизити продуктивність і якість роботи.

ВИХІД ЛАДУ ДАТЧИКІВ

Вихід з ладу одного датчика може значно ускладнити або навіть повністю зупинити роботу будь-якого присторою. Сучасний помірно оснащений автомобіль може мати кілька десятків датчиків. Чим вищий клас транспортного засобу, тим більше в ньому датчиків. До прикладу візьмемо сучасний розумний автомобіль TESLA. У цьому випадку ми розглянемо датчики, які впливають на роботу двигуна. Щоб зберегти життя всіх учасників руху, розробник має звернути особливу увагу на розробку правильності роботи двигуна та інших деталей автомобіля. [2]

Тож: Несправність датчика — як швидко, правильно і дешево виправити?

Три основні фактори визначають швидке та ефективно усунення несправностей: досвід і знання механіки; комп'ютерна діагностика; обладнання для перевірки стану датчиків. Комп'ютерна діагностика дозволяє перевірити, який датчик став причиною несправності автомобіля. У більшості випадків коди помилок потрібно правильно оцінити, оскільки вони не завжди однозначні. Несправність кисневого датчика, на яку вказує діагностичний комп'ютер, може бути викликана засміченим трихоловим каталізатором. [3]

Сучасні автомобілі оснащені цілим арсеналом датчиків, які постійно відстежують різноманітні параметри та стани транспортного засобу. Ці датчики не лише підвищують комфорт водіння, але й відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки на дорозі. Давайте розглянемо деякі з найважливіших датчиків, які допомагають запобігти аваріям.

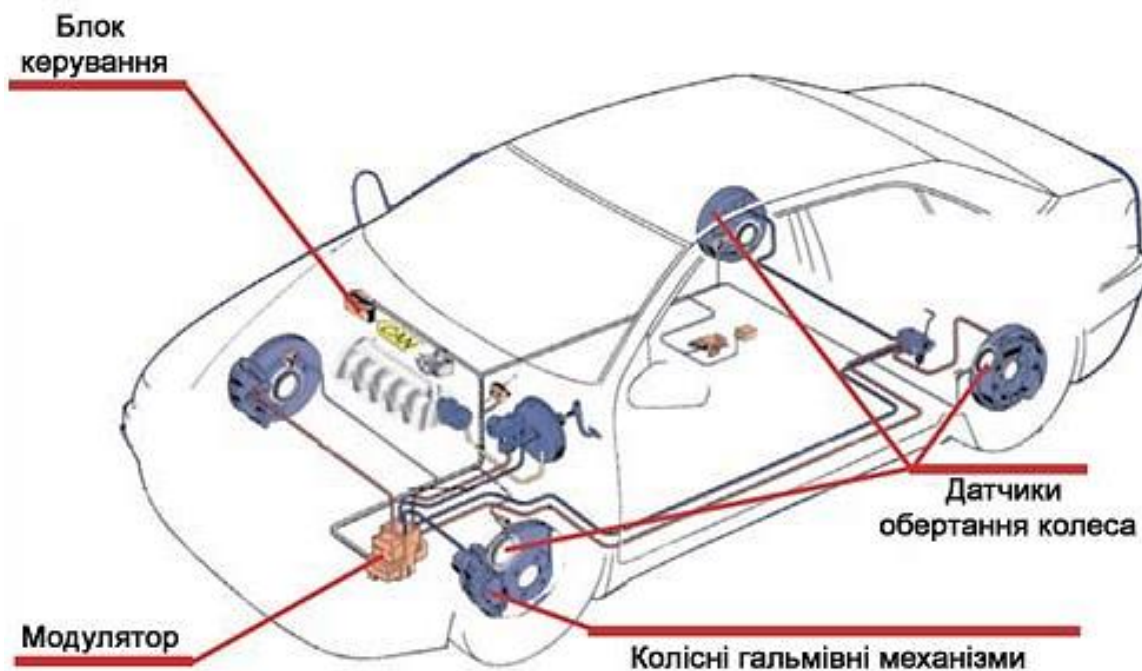


Рис.1. Датчики ABS (антиблокувальна система гальм)

Датчики ABS відстежують швидкість обертання кожного колеса. Якщо під час гальмування якесь колесо починає блокуватися, система ABS знижує тиск у гальмівній системі цього колеса, дозволяючи водієві зберегти контроль над автомобілем та уникнути заносу.

1. Датчики ESP (електронна система стабілізації)

Датчики ESP відстежують кут повороту керма, швидкість обертання кожного колеса, кут нахилу кузова та інші параметри. Якщо система виявляє ризик заносу або втрати контролю над автомобілем, вона автоматично коригує роботу двигуна та гальмівної системи, щоб стабілізувати транспортний засіб.

2. Датчики тиску в шинах

Ці датчики постійно відстежують тиск повітря в шинах і попереджають водія про його зниження. Недостатній тиск в шинах може призвести до погіршення керованості автомобіля, збільшення витрати палива та підвищеного ризику проколу.

3. Датчики дощу і світла

Ці датчики автоматично включають склоочисники та фари залежно від інтенсивності освітлення та опадів. Це дозволяє водієві зосередитися на дорозі і не відволікатися на ручне керування цими системами.

4. Датчики паркування

Датчики паркування за допомогою ультразвукових або радарних сигналів виявляють перешкоди за автомобілем і попереджають водія звуковими або візуальними сигналами. Це особливо корисно при паркуванні в обмеженому просторі.

5. Камери заднього виду

Камера заднього виду забезпечує водієві додаткову інформацію про те, що відбувається позаду автомобіля. Це особливо корисно при маневруванні та

паркуванні.

6. Системи адаптивного круїз-контролю

Ці системи використовують радарні датчики для вимірювання відстані до автомобіля, що рухається попереду. Системи адаптивного круїз-контролю автоматично регулюють швидкість автомобіля, щоб підтримувати безпечну дистанцію.

7. Системи автоматичного гальмування

Ці системи використовують радарні та камерні датчики для виявлення перешкод на дорозі. Якщо система виявляє ризик зіткнення, вона автоматично ініціює гальмування, щоб уникнути аварії або зменшити її наслідки.

Важливо зазначити, що наявність усіх цих систем не звільняє водія від відповідальності за безпеку на дорозі. Датчики та системи допомоги водієві є лише додатковими засобами безпеки, і водій завжди повинен бути уважним і готовим до непередбачених ситуацій. [4]

ІНФОРМАЦІЙНО – ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Інформаційно-вимірвальні технології (ІВТ) та метрологія відіграють фундаментальну роль у створенні інтелектуальних систем моніторингу виробничих процесів. Саме вони забезпечують збір, обробку та аналіз даних, які є основою для прийняття рішень щодо оптимізації виробництва та запобігання аварій.

Ключові аспекти ролі ІВТ та метрології.

Збір даних: *датчики, метрологічне забезпечення.* Вони забезпечують безперервний збір даних про різноманітні параметри виробничого процесу; гарантує точність та достовірність отриманих даних шляхом калібрування датчиків і проведення метрологічної атестації. [5]

Обробка даних: *системи збору даних та програмне забезпечення.* Це консолідує дані з різних джерел та передають їх на обробку; використовується для фільтрації, нормалізації та агрегації даних, а також для їх подальшого аналізу. [6]

Аналіз даних: *статистичні методи, машинне навчання.* Дозволяють виявити тренди, сезонність та інші закономірності в даних. Використовується для створення моделей, які здатні виявляти аномалії, прогнозувати майбутні значення та класифікувати дані. [7]

Візуалізація даних: *інтерактивні дашборди.* Представляють дані у зручному для сприйняття вигляді, що дозволяє операторам швидко оцінити стан виробничого процесу.

Прийняття рішень: *системи підтримки рішень.* На основі отриманих даних та результатів аналізу пропонують оптимальні рішення для управління виробничими процесами.

Тож *метрологія* відіграє особливо важливу роль у забезпеченні якості даних. Вона встановлює єдині вимоги до вимірювань, забезпечує їх точність та порівнянність. Без метрологічного забезпечення неможливо побудувати надійну систему моніторингу.

Конкретні приклади застосування ІВТ та метрології: *моніторинг стану*

обладнання, оптимізація енергоспоживання, контроль якості продукції, прогнозування виробництва. Завдяки цій обладді ми можемо виявляти знос деталей, витоків, перегрів та інші аномалії, що можуть призвести до аварій.

Фактори, які слід врахувати при розробці створення інтелектуальних систем моніторингу - це точність, швидкість, простота, вартість та інвазивність.

Точність: Система повинна здатна виявляти навіть найменші зміни або аномалії в моніторених даних. Це особливо важливо для раннього виявлення проблем. Використання складних алгоритмів машинного навчання, таких як нейронні мережі, дозволяє виявляти неявні залежності та патерни в даних.

Швидкість: Система повинна забезпечувати швидку обробку даних та видачу результатів у режимі реального часу Система повинна бути легкою у використанні навіть для користувачів без глибоких технічних знань. Зведення до мінімуму необхідності вручну налаштовувати систему. **Вартість:** Вартість датчиків, серверів та іншого обладнання. Ліцензії на програмне забезпечення, витрати на розробку

Інвазивність: Система повинна мінімально впливати на роботу монітореного об'єкта. Забезпечення безпеки та конфіденційності даних. Дотримання етичних норм при зборі та обробці даних. [8]

ВИСНОВКИ

Створення інтелектуальних систем моніторингу виробничих процесів є актуальним завданням сучасного виробництва. Такі системи дозволяють підвищити ефективність виробництва, забезпечити безпеку праці, знизити витрати та покращити якість продукції. Інформаційно-вимірювальні технології (ІВТ): Грають ключову роль у зборі, обробці та аналізі даних. Метрологія забезпечує точність і достовірність вимірювань. Результати досліджень залежать від багатьох факторів, як зовнішніх, так і внутрішніх. Важливо враховувати ці фактори при плануванні та проведенні досліджень. Загалом, створення інтелектуальних систем моніторингу є складним і багатогранним завданням, яке вимагає комплексного підходу. Однак, переваги таких систем є очевидними, і їх впровадження є одним з ключових напрямків розвитку сучасного виробництва. Перспективами подальших досліджень може бути розробка нових алгоритмів машинного навчання для більш точного аналізу даних, створення систем, які здатні адаптуватися до змін у виробничому процесі, розробка систем, які можуть працювати в умовах невизначеності та неповних даних. Ця робота є лише першим кроком на шляху до створення ідеальної системи моніторингу. Подальші дослідження дозволять розширити можливості таких систем і зробити їх ще більш ефективними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Методологія наукових досліджень: Підручник. / Білуха М. Т. — Київ: АБУ, 2002.— 480 с. Білецький В. С. Методологія наукових досліджень технічних об'єктів та їх оптимізація (Навчальний посібник), Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». — Київ: ФОП Халіков Руслан Халікович, 2023. — 118 с.

- [2] <https://foreignukraines.com/2023/11/25/ukraine-has-become-one-of-the-leading-centers-for-repairing-damaged-tesla-electric-cars/>
- [3] <https://ua.motofocus.eu/news/49928,%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96-%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%BA%D0%B8-%D0%BD%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B0-%D1%82%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA-%D0%B4%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F/>
- [4] <https://www.olx.ua/uk/list/q-tesla-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA-%D0%B4%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F/>
- [5] https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%B7%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%83_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85
- [6] https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%82%D1%8F_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D1%96%D0%B2 Дискримінантний кореляційний аналіз (DCA) [Архівовано 11 червня 2018 у Wayback Machine.] Міжнародне товариство інформаційного злиття [Архівовано 2 квітня 2022 у Wayback Machine.]

Haghighat, Mohammad; Abdel-Mottaleb, Mohamed; Alhalabi, Wadee (2016). Discriminant Correlation Analysis: Real-Time Feature Level Fusion for Multimodal Biometric Recognition. IEEE Transactions on Information Forensics and Security. 11 (9): 1984—1996. doi:10.1109/TIFS.2016.2569061. Архів оригіналу за 10 квітня 2022. Процитовано 11 квітня 2022.

- [7] <https://univdatos.com/uk/report/sensor-data-analytics-market/>
- [8] <https://gigacenter.ua/ua/news/mozg-data-centra-ili-chto-takoe-sistema-monitoringa-data-centra>

Наук. керівник –к.т.н., доцент кафедри “Охорони праці, промислової та цивільної безпеки” Полукаров О.І.

УДК: 681.586.48

*О.В. Вінніченко, аспірант, гр. ПІ-41ф, д.т.н., проф. Здоренко В.Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ОЦІНКА СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ПАЛИВА

Анотація. Точне вимірювання рівня палива є важливим завданням для різних галузей, включаючи транспортну, енергетичну, авіаційну та промислову. У статті досліджено сучасні методи вимірювання рівня палива та підвищення їх точності, зокрема, калібрування, температурну компенсацію, цифрову фільтрацію сигналів. Наведено аналіз їх переваг та недоліків. У статті розглянуто перспективи інтеграції цих методів у системи моніторингу палива для забезпечення їх точності та надійності. Результати можуть бути використані в інженерних розробках і оптимізації технологічних процесів.

Ключові слова: вимірювання, рівень палива, сенсор, метод, інтернет речей, температурна компенсація.

ВСТУП

Точне вимірювання рівня палива є ключовим завданням, що впливає на економічність, екологічність та безпеку експлуатації обладнання. Відхилення у вимірюваннях можуть спричинити аварії, перевитрати ресурсів та негативні екологічні наслідки. Сучасний розвиток вимірювальної техніки дозволяє впроваджувати нові методи та системи, які забезпечують вищу точність і стабільність вимірювань навіть у складних експлуатаційних умовах.

Глобальні вимоги до оптимізації витрат палива і зниження викидів парникових газів стимулюють розробку нових технологій вимірювання. Це особливо актуально для транспортного та авіаційного секторів, де навіть незначні похибки можуть призвести до значних фінансових втрат. Завданням даної статті є оцінка сучасних методів вимірювання рівня палива, визначення їх сильних і слабких сторін та перспектив подальшого розвитку.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Попередні дослідження у галузі вимірювання рівня палива демонструють значні успіхи у розробці методів, сенсорів та підходів до обробки даних [1–5]. Зокрема, увага приділялася наступним методам:

Ультразвуковий метод [1] демонструє високу точність і стабільність роботи датчиків навіть у складних умовах експлуатації. Завдяки безконтактній природі цей метод є одним із найбільш довговічних і надійних. Проте його використання обмежується через вищу вартість виробництва та складність інтеграції в деякі системи.

Ємнісний метод. Робота [2] підтверджує, що цей метод залишається популярним завдяки низькій вартості датчиків, простоті конструкції та можливості інтеграції з мінімальними витратами. Однак сенсори мають певні обмеження, пов'язані з чутливістю до температурних коливань, властивостей палива та форми бака, що може спричинити похибки.

Радіолокаційний метод. У дослідженні [3] акцентується на ефективності радіолокаційних сенсорів у складних середовищах, зокрема в баках із турбулентністю чи піною. Метод забезпечує високу точність незалежно від властивостей палива, але вартість таких сенсорів і складність їх налаштування обмежують масове впровадження.

Оптичний метод. У статті [4] наголошується на його швидкодії та високій точності, що робить його придатним для лабораторного використання. Проте в реальних умовах точність вимірювань суттєво залежить від прозорості рідини, а наявність домішок може створювати значні похибки.

Незважаючи на значний прогрес та доступність методів вимірювання рівня палива, ключовими проблемами залишаються висока вартість впровадження, обмежена сумісність різних технологій і недостатня адаптивність до змінних умов. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку економічно доступних рішень із покращеними характеристиками.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Порівняння переваг і недоліків сучасних методів вимірювання рівня палива [1-4] зазначено в табл. 1.

Таблиця 1. Переваги і недоліки сучасних датчиків рівня палива

<i>Метод</i>	<i>Принцип роботи</i>	<i>Переваги</i>	<i>Недоліки</i>
Ємнісний	Зміна рівня рідини змінює ємність між електродами, що дозволяє точно визначати рівень палива.	Висока точність, нечутливість до нахилу бака	Чутливість до температурних коливань і властивостей рідини (густина, діелектрична проникність) та її якості. Необхідність регулярного обслуговування.
Ультразвуковий	Вимірюють час проходження ультразвукових хвиль від датчика до поверхні палива і назад.	Висока точність, безконтактність, стабільність у складних умовах, універсальність.	Потребують фільтрації сигналів для уникнення похибок через вібрації або нахили.
Радіолокаційний	Використовують радіохвилі для вимірювання рівня палива	Висока точність незалежно від умов експлуатації	Дуже висока вартість, потреба в спеціалізованій обробці даних.
Оптичний	Використовують зміну показників заломлення світла для визначення рівня палива.	Висока швидкодія, відсутність механічного зносу.	Точкове вимірювання. Чутливість до забруднень і необхідність регулярного обслуговування. Висока вартість.

Аналіз сильних і слабких сторін різних методів вимірювання палива показав, що ультразвуковий метод вирізняється своєю універсальністю, високою точністю та стійкістю до зовнішніх впливів, що робить його перспективним інструментом для точного визначення рівня палива. Ультразвукові датчики рівня палива, що ґрунтуються на аналізі часу проходження звукової хвилі, в останні роки отримали широке застосування завдяки їх точності, широкій номенклатурі ультразвукових приймачів та передавачів і стійкості до зовнішніх впливів.

Ультразвуковий метод вимірювання рівня палива має високу точність і універсальність, але його ефективність залежить від умов експлуатації. Для

вдосконалення цього методу можна виділити кілька перспективних напрямків:

Температурна компенсація. Зміни температури впливають на густину і діелектричні властивості палива, що може спричиняти похибки у вимірюваннях. Температурна компенсація дозволяє мінімізувати ці впливи завдяки впровадженню спеціалізованих алгоритмів і додаткових сенсорів, які забезпечують автоматичне коригування показників [5].

Цифрова фільтрація сигналів та калібрування системи. Калібрування є одним із базових методів для підвищення точності. Воно дозволяє враховувати специфічні геометричні особливості бака та фізичні характеристики палива. В свою чергу сигнали від сенсорів часто піддаються впливу шумів, зокрема через вібрації або коливання рідини. Використання цифрових фільтрів, таких як фільтри Калмана або низькочастотна фільтрація, дозволяє стабілізувати вимірювання і уникнути хибних результатів [6].

Адаптація під складну геометрію бака. Форма бака та перешкоди (наприклад, трубки, перегородки) впливають на відбиття ультразвукових хвиль. Можливі шляхи вдосконалення: застосування мультисенсорної архітектури, коли кілька сенсорів встановлюються у стратегічно важливих точках бака і розробка алгоритмів, які враховують нерівності та асиметрію бака.

Інтеграції з технологіями інтернету речей (IoT) дозволяють створювати системи моніторингу рівня палива в реальному часі. Це забезпечує віддалений контроль, зберігання даних у хмарних системах та оперативний аналіз інформації, що підвищує ефективність управління запасами палива [7].

ВИСНОВКИ

Сучасні методи вимірювання рівня палива забезпечують високу точність і стабільність показників. Їх використання залежить від умов експлуатації та потреб користувача. Ультразвуковий метод вимірювання рівня палива є перспективною технологією, що широко використовується завдяки своїй точності, універсальності та стабільності роботи в різних умовах. Однак, як і будь-яка інша технологія, він має певні обмеження, які можна подолати шляхом впровадження новітніх технологічних рішень. Суттєві перспективи також пов'язані з інтеграцією ультразвукових систем у екосистеми Інтернету речей (IoT). Віддалений моніторинг, зберігання та аналіз даних у хмарних середовищах, а також автоматичне оповіщення про критичні ситуації є важливими інструментами для оптимізації управління паливними ресурсами.

Таким чином, подальші дослідження ультразвукових методів вимірювання рівня палива повинні лежати у площині інноваційного поєднання технологій, адаптації до реальних умов експлуатації та інтеграції з сучасними цифровими системами. Це створює потенціал для значного підвищення ефективності управління паливними ресурсами та зниження операційних витрат, що є важливим для транспорту, промисловості та енергетичного сектору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Qiu, Z., Lu, Y., & Qiu, Z. (2022). Review of ultrasonic ranging methods and their current challenges. *Micromachines*, 13(4), 520.

<https://doi.org/10.3390/mi13040520>

- [2] Nikhil, S., Roopa, J., Harigovind, A., & Bharadwaj, A. (2021). A review on capacitive liquid level sensing techniques. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 23, 654–662. <https://doi.org/10.51201/JUSST/21/05312>
- [3] Kaineder, A., Michenthaler, C., Hammerschmidt, D., & Stelzer, A. (2019). Guided wave tank level sensor. In *2019 16th European Radar Conference (EuRAD)* (pp. 301–304). Paris, France.
- [4] Chandani, S. M., & Jaeger, N. A. F. (2007). Optical fiber-based liquid level sensor. *Optical Engineering*, 46(11), 114401. <https://doi.org/10.1117/1.2801506>
- [5] Oil Consultancy. (n.d.). Warm fuel: Understanding temperature effects on fuel measurement and storage.
- [6] Retrieved from <http://www.oilconsultancy.com/pdf/warm-fuel>
- [7] Ramprasad, P., Reddy, C. V., & Prasad, B. S. (2021). Digital fuel monitoring system for automobiles. In *2021 Second International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)* (pp. 6–10). Coimbatore, India. <https://doi.org/10.1109/ICESC51422.2021.9532604>
- [8] Bose, R., Roy, S., Chakraborty, S., & Sarkar, I. (2020). Development of a real-time fuel monitoring system for construction industry using Internet of Things. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(3), 2011–2017. <https://doi.org/10.35940/ijitee.c8568.019320>

Наук. керівник – д.т.н., проф, Здоренко В.Г.

УДК 620.179.16

С.М. Глабець, аспірант, група ПІ-41ф
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДИФРАКЦІЙНО-ЧАСОВОГО МЕТОДУ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ СТИКОВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ

Анотація. Розглянуто дифракційно-часовий метод ультразвукового контролю стикових зварних з'єднань металевих конструкцій, його особливості, переваги та недоліки а також можливість застосування для сучасних конструкційних пластиків, а саме зварних з'єднань труб з поліетилену високої щільності (HDPE). Проаналізовані проблеми та намічені напрямки досліджень з метою визначення придатності дифракційно-часового методу для контролю зварних з'єднань промислових поліетиленових трубопроводів.

Ключові слова: зварні з'єднання; ультразвуковий контроль, дифракційно-часовий метод, труби, поліетилен високої щільності, дефекти.

ВСТУП

Сучасна промисловість та комунальна сфера вимагають використання розгалуженої мережі трубопроводів для транспортування технологічних рідин, газів, води. Класичні сталеві труби з'єднані зварюванням мають обмежений термін експлуатації внаслідок старіння металу, корозії, накопичення забруднень, складності монтажу та ремонту. Альтернативою сталевим трубами наразі є застосування труб, виготовлених з поліетилену високої щільності (ПВЩ), що має численні переваги - відсутність корозії, стійкість до перепадів температур і замерзання, мала вага і швидкість зварювання [1]. В даній статті розглядаються аспекти дифракційно-часового методу ультразвукового контролю якості зварних з'єднань поліетиленових трубопроводів.

МЕТА

Проаналізувати класичні підходи до контролю якості зварних з'єднань сталевих труб та наявні вимоги до труб з ПВЩ, з'ясувати необхідність та можливість використання і адаптації ультразвукових методів неруйнівного контролю до контролю труб з ПВЩ.

АНАЛІЗ НЕРУЙНІВНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

Для неруйнівного контролю сталевих труб з метою виявлення внутрішніх дефектів у стикових зварних з'єднаннях традиційно використовується радіографічний метод і луна-імпульсний метод ультразвукового контролю (УЗК) з використанням зсувних хвиль і реєстрацією амплітуди сигналів відбиття ультразвукового променя від дефектів [1].

Радіографія небезпечна з огляду на використання гамма і рентгенівського випромінювання та є трудомісткою при проведенні контролю і обробці результатів, але має високу чутливість до виявлення об'ємних дефектів і просте документування результатів контролю - знімків.

Ультразвуковий метод контролю – безпечний інструментальний метод, що забезпечує виявлення як об'ємних дефектів (пори, включення), так і площинних (тріщини, розшарування). Проте, вимагає високої кваліфікації фахівців для підбору параметрів процесу, аналізу та тлумачення отриманих результатів.

Останні роки став широко використовуватися різновид УЗК - дифракційно-часовий метод (ДЧМ), інша назва «часопролітний», походить від англomовного time of flight diffraction (TOFD). Метод ґрунтується на реєстрації дифрагованих хвиль від дефектів. Для ДЧМ використовується пара ультразвукових перетворювачів поздовжніх хвиль (рис.1), один випромінює ультразвуковий промінь (В) у матеріал, а інший приймає (Пр) дифраговані хвилі. На рис. 2 показано утворення дифракційних хвиль (2), згідно принципу Гюйгенса, краями дефекту (3) під дією первинного променю (1), і видно, що такі дифракційні хвилі розходяться концентрично у матеріалі.

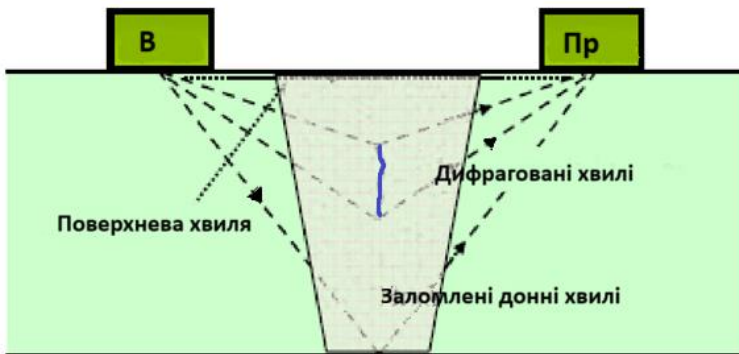


Рис.1. Схематичне представлення дифракційно-часового методу

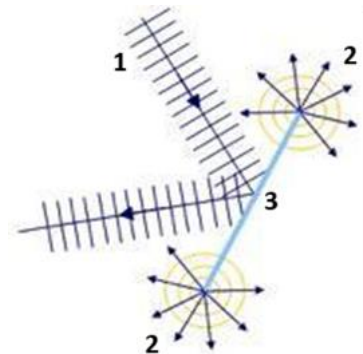


Рис.2. Утворення дифракційних хвиль

Головна інформаційна характеристика – час приходу дифрагованих сигналів. Вимірювання часу отримання сигналів дозволяє точно визначати розташування та розміри несучільностей, попри їх різноманітну орієнтацію до первинного променю. Амплітуда сигналу не використовується для визначення розміру дефекту [2].

Традиційно ДЧМ використовується для контролю саме сталевих труб. Залежно від обраної частоти перетворювачів (1-15 МГц) і кута введення (40° - 70°) за один прохід може виконуватись контроль труб з товщиною стінки від 10 до 70 мм. Для товщин до 300 мм контроль виконується за кілька проходів або з використання декількох пар перетворювачів [3].

Ручний контроль зварного з'єднання виконується за допомогою механічного тримача для двох перетворювачів, з переміщенням вздовж шва. Сигнали відстежуються на розгортці типу А-скан дефектоскопа.

Використання ДЧМ в поєднанні з скануючим пристроєм та сучасним цифровим дефектоскопом дає змогу, на основі отриманих А-сканів, формувати В-скан зображення (бокову проекцію) зварного шва з прив'язкою до реальної довжини проконтрольованої ділянки (рис.3) [5]. Отримані результати зберігаються для повторного перегляду, проведення вимірів, прийняття рішень та документування результатів контролю.

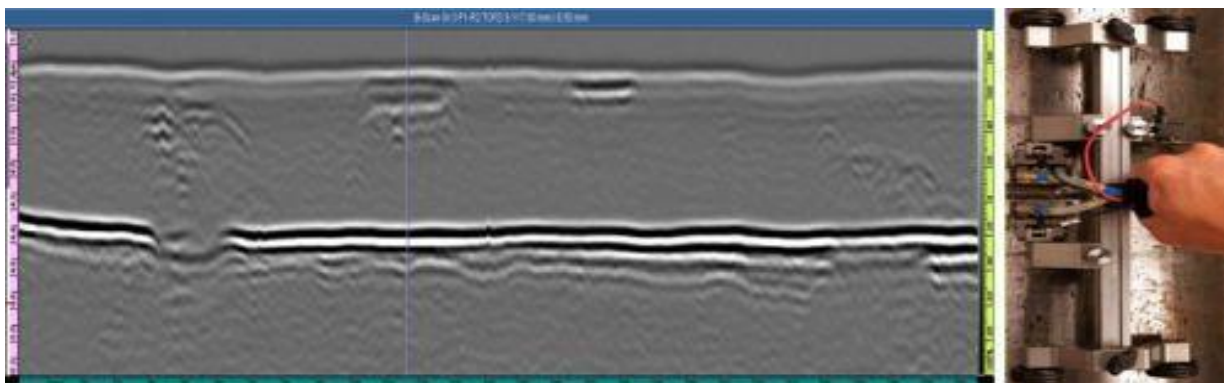


Рис. 3. В-скан ділянки зварного з'єднання з використанням сканеру

Дифракційно-часовий метод характеризується високою чутливістю до дефектів будь-якої орієнтації, дефектів малого розміру (теоретично від 0,5 мм) та високою точністю визначення їхніх розмірів, яка зазвичай становить ± 1 мм, а при повторних обстеженнях до $\pm 0,3$ мм [2] і у більшості випадків може повністю замінити використання радіографічного методу.

Проведення порівняльних випробувань ДЧМ, радіографічного методу (тільки гамма випромінювання) і традиційного УЗК показало ймовірність виявлення дефекту 70-90% для ДЧМ проти 60-70% для радіографії і 50-65% для УЗК [3].

Однак метод має певні обмеження. Слабкою стороною є мала амплітуда дифрагованих сигналів, що на 20–30 dB є меншою, ніж у класичного луна-імпульсного методу. Також існують «мертві зони» зі зниженою чутливістю біля поверхні введення хвиль і протилежної стінки. Метод складно застосовувати для контролю неоднорідних або крупнозернистих матеріалів через високий рівень загасання ультразвукових хвиль. Крім того метод практично не застосовується для контролю кутових з'єднань.

ПОТОЧНИЙ СТАН КОНТРОЛЮ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ

Для перевірки зварних з'єднань ПВД труб на практиці використовують візуальний огляд і руйнівні методи: гідростатичні випробування та механічні випробування якості зварювання зразків на розривних машинах [5].

Згідно з дослідженнями [6] у зварних з'єднаннях ПВД труб найбільш поширеними є наступні дефекти: пори, несплавлення, тріщини, сторонні вclusions.

Зазначені застосовувані методи контролю не здатні виявляти внутрішні дефекти та сторонні вclusions. Також малоефективними є класичні неруйнівні методи, такі як радіографія – слабка чутливість до несплавлень та тріщин з огляду на їх орієнтацію, та традиційний ультразвуковий контроль луна-імпульсним методом у зв'язку з значним затуханням зсувних хвиль у даному типі матеріалів.

Таким чином використання дифракційно-часового методу УЗК з поздовжніми хвилями, згідно вищевказаних переваг методу, матиме позитивні результати у разі вирішення наступних питань.

Потребує підбору оптимальна частота перетворювача і конструкція призми оскільки ті що використовуються для контролю сталевих труб не можуть бути

застосовані для труб з ПВЩ у зв'язку з відбиттям променя від поверхні труби [6].

Також важливо дослідити оптимальну глибину фокусування перетворювачів для зменшення приповерхневих «мертвих зон» [1].

Для отримання стабільних результатів та документування контролю (формування В-скан розгортки зварного з'єднання) необхідна зміна конструкції сканера. Система кріплення сканера на поверхні сталевих труб магнітними коліщатами не може бути використана для поліетиленових труб.

ВИСНОВКИ

ДЧМ є безпечнішою та ефективнішою альтернативою радіографії та класичному УЗК. Метод дозволяє точно визначати розташування та розміри дефектів різної орієнтації. Має високу чутливість та продуктивність і реалізує документування результатів для подальшого аналізу та тлумачення.

ДЧМ потенційно може бути основним методом контролю зварних з'єднань труб з ПВЩ за умови адаптації обладнання та методики контролю до особливостей матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Correia, C. (2017). TOFD Examination of HDPE Butt Weld Fusion Joints.e-Journal of Nondestructive Testing, Vol. 22(6), pp. 1-11.
- [2]Глабець С.М. Ультразвуковий дифракційно-часовий (TOFD) метод НК для контролю стикових зварних з'єднань/СМ Глабець//Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі: матеріали 1-шої науково-технічної конференції з міжнародною участю–NDT-UA 2017, 24-27 жовтня 2017 року, м. Люблін, Польща.–Люблін: УТ НКТД, 2017.–С. 17-24.–Бібліогр.: 2 назви.
- [3]Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Дифракційно-часовий метод для виявлення та визначення розмірів несутільностей : ДСТУ EN ISO 16828:2015 — [Введ. в дію 24.02.2016]. — К. : Держстандарт України, 2016. — 23 с. — (Національний стандарт України).
- [4]Introduction to Time-of-Flight Diffraction (TOFD) for Weld Inspection — Режим доступу: <https://www.olympus-ims.com/en/applications/introduction-to-time-of-flight-diffraction-for-weld-inspection/>.
- [5]Поліетиленові (ПЕ) труби і фітинги. Визначення міцності на розрив і типу руйнування зразків, виготовлених із стикового зварного з'єднання : ДСТУ Б EN ISO 13953:2011 — [Введ. в дію 01.01.2013]. — К. : Держстандарт України, 2013. — 49 с. — (Національний стандарт України).
- [6]Pettigrew, I.G. "Advanced Ultrasonic Inspection of HDPE Welds." Paper presented at the Offshore Technology Conference-Asia, Kuala Lumpur, Malaysia, March 2014. doi: <https://doi.org/10.4043/25065-MS>.

Науковий керівник – д.т.н., проф. В.С. Єременко

УДК 534, 62-50, 621.317.7

*М.В. Данілов, студент гр. ПІ-41мп, д.т.н., проф. Здоренко В.Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ

Анотація. Ультразвукові датчики є важливим компонентом сучасних технологій, забезпечуючи точне вимірювання відстаней у різних сферах. Їхня ефективність залежить від правильного вибору методу вимірювання та реалізації завадозахищеності.

Ключові слова : ультразвуковий датчик, безконтактне вимірювання, точність, надійність.

ВСТУП

Ультразвукові датчики є одним із ключових елементів сучасних технологій, які широко використовуються у промисловості, транспорті, робототехніці та системах безпеки. Вони дозволяють здійснювати точне вимірювання відстані, контроль просторових параметрів і визначення положення об'єктів у реальному часі. Проте ефективність їхньої роботи значною мірою залежить від здатності протистояти завадам, таким як акустичні шуми, температурні коливання та пил.

Дослідження в галузі ультразвукових вимірювань зосереджені на розробці методів, які забезпечують точність, надійність і стійкість до перешкод. Особлива увага приділяється методам завадозахищеності, таким як адаптивна фільтрація та кореляційний аналіз, а також вдосконаленню технічних параметрів датчиків для розширення їхнього застосування у складних умовах.

Ця робота спрямована на аналіз існуючих підходів до вимірювання відстані за допомогою ультразвукових датчиків, визначення їхніх обмежень та пошук шляхів підвищення ефективності шляхом реалізації сучасних методів обробки сигналів і технологій захисту від завад.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Завадозахищеність ультразвукових датчиків та різноманіття методів вимірювання відстані – це ключові аспекти, що забезпечують їх ефективність та надійність у сучасних технологічних рішеннях. Ультразвукові датчики широко використовуються в робототехніці, промисловій автоматизації, системах безпеки та транспорті, де точність і стійкість до перешкод є критично важливими.

Завадозахищеність дозволяє датчикам функціонувати навіть у складних умовах, таких як наявність шумів, температурних коливань або пилу. Наприклад, у виробничих лініях, де працює багато обладнання, акустичні перешкоди можуть викликати помилкові сигнали. Для запобігання цьому використовуються алгоритми цифрової обробки сигналів, частотна фільтрація або специфічні форми імпульсів, які мінімізують вплив перешкод.

Метою роботи є дослідження методів вимірювання відстані та завадозахищеності ультразвукових датчиків для забезпечення їх ефективності, надійності та точності у складних умовах експлуатації.

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ

Перед тим як розглянути методи вимірювання відстані та методи завадозахищеності, треба розуміти які обмеження має ультразвукове вимірювання відстані.

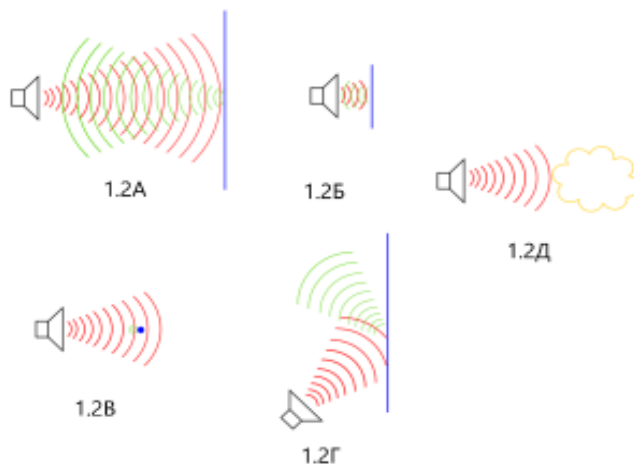


Рисунок 1. Неefективні ситуації ультразвукового вимірювання відстані

- Дальність дії: Сигнал може втрачати інтенсивність із збільшенням відстані, що обмежує максимальну дальність вимірювання.
- Розсіювання сигналу: Сигнал може розсіюватись на нерівних поверхнях, що призводить до неточних вимірювань.
- Чутливість до матеріалів і кута нахилу об'єкта: Найкращі результати досягаються, коли поверхня об'єкта перпендикулярна до датчика.

М'які матеріали можуть поглинати ультразвук, що знижує точність[1].

Амплітудний метод базується на вимірюванні зниження інтенсивності ультразвукового сигналу зі збільшенням відстані. Амплітуда отриманого сигналу зменшується пропорційно відстані між передавачем і приймачем. Цей метод має свої переваги, але точність вимірювань знижується при великій відстані через значне розсіювання та поглинання звукових хвиль у повітрі[2].

Фазовий метод базується на визначенні різниці фаз між переданим та отриманим сигналами. Для цього використовуються безперервні модуляції ультразвукових хвиль. Відстань визначається шляхом порівняння фаз прийнятого та випроміненого сигналів. Цей метод забезпечує високу точність, але потребує складнішої апаратури та значних обчислювальних ресурсів..

Частотний метод заснований на вимірюванні змін частоти, пов'язаних із відбитим сигналом. При використанні цього методу частота переданого сигналу поступово змінюється, а отриманий сигнал порівнюється з початковою частотою. Метод дозволяє точно вимірювати дуже малі відстані, але вимагає високої лінійності зміни частоти і складної апаратури.

Імпульсний метод використовує амплітудну модуляцію імпульсів. Він дозволяє одночасно вимірювати відстані до кількох об'єктів, проте не підходить для визначення дуже малих відстаней. Метод широко застосовується у промислових та наукових приладах. Цікаво, що апарат може використовуватися і для координації та контролю трафіку кораблів, спостереженням за риболовством за для запобігання порушень встановлених норм та пошуку і спасіння людей у разі такої потреби[3].

МЕТОДИ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ

Однією з основних задач під час проектування ультразвукових пристроїв є

забезпечення їхньої стійкості до завад. Сигнали, що надходять до приймача, зазвичай супроводжуються завадами, такими як шум, який може призводити до помилкових вимірювань. Оптимальні методи обробки сигналу, зокрема використання адаптивних фільтрів, дозволяють виділяти корисний сигнал і фільтрувати завади.

Метод оптимальної обробки сигналу базується на порівнянні сигналу та завад за певними характеристиками, як-от частота, амплітуда, час прибуття тощо. Залежно від параметрів, що дозволяють розрізнити сигнал і заваду, обирається конкретний метод фільтрації. Наприклад, для адитивного шуму можна використовувати фільтрацію на основі математичної статистики, що дозволяє зменшити похибку вимірювань.

Кореляційний метод є одним із найефективніших підходів для виділення корисного сигналу на тлі шуму. Метод базується на кореляційному аналізі між переданим і прийнятим сигналами. Приймач корисного сигналу включає пристрій, що обчислює кореляцію між отриманим сигналом і еталонною формою сигналу. При цьому корисний сигнал, що має фіксовану форму і частоту, ефективно виділяється, тоді як шум залишається в значній мірі відфільтрованим[4,5].

ВИСНОВОК

Ультразвукові датчики відіграють важливу роль у сучасних технологіях, забезпечуючи точне вимірювання відстаней навіть у складних умовах. Проте їх ефективність обмежується низкою факторів, таких як дальність дії, чутливість до матеріалів і кута нахилу об'єкта, а також розсіювання сигналу на нерівних поверхнях. Різні методи вимірювання, зокрема амплітудний, фазовий, частотний та імпульсний, мають свої переваги та обмеження, залежно від умов застосування. Наприклад, амплітудний метод простий, але менш точний на великих відстанях, тоді як фазовий забезпечує високу точність, проте вимагає складної апаратури.

Щоб забезпечити надійну роботу датчиків у середовищах із шумами та іншими перешкодами, застосовуються спеціалізовані методи захисту від завад. Використання адаптивних фільтрів, оптимальної обробки сигналів і кореляційного аналізу дозволяє ефективно виділяти корисний сигнал, зменшуючи вплив шумів. Зокрема, кореляційний аналіз дозволяє фільтрувати перешкоди, забезпечуючи точність навіть за високого рівня завад.

Інтеграція точних методів вимірювання з ефективними підходами до завадозахищеності гарантує високу продуктивність ультразвукових датчиків у промисловості, транспорті, робототехніці та системах безпеки, роблячи їх важливим інструментом для вирішення складних завдань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Roy E. Core Independent Ultrasonic Distance Measurement with the tinyAVR 1-series. AN2548, 2018, с.5 URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/AN2548-Core-Independent-Ultrasonic-Distance-Measurement-00002548C.pdf>

- [2] Using the Amplitude of Ultrasonic Echoes to Classify Detected Objects in a Scene
URL:<https://personales.upv.es/mmartind/P183.pdf>
- [3] [Електронний ресурс] // – 2024. – Режим доступу до ресурсу:
<http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/inrtzp/txt/oliynik.pdf>
- [4] Langenberg, Karl-Jörg; Marklein, René; Mayer, Klaus Ultrasonic Nondestructive Testing of Materials: Book. Florida: CRC Press 2012, с.48
URL:<https://www.routledge.com/Ultrasonic-Nondestructive-Testing-of-Materials-Theoretical-Foundations/Langenberg-Marklein-Mayer/p/book/9781138075962>
- [5] Michel DARMON Ultrasonic Modelling for Non-destructive Testing: Book. Paris: Applied Sciences 2023, с.142 URL: https://mdpi-res.com/bookfiles/book/9248/Ultrasonic_Modelling_for_Nondestructive_Testing.pdf?v=1716426290

Наук. керівник – д.т.н., проф. Здоренко В.Г.

УДК 504.3.054

Д.Л. Дузяк, студ. гр. ПІ-22
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПІДКЛЮЧЕННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ МОНІТОРУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Анотація. Інтернет речей (IoT) використовують в технологіях розумного дому. Однією із функцій розумного дому є моніторинг середовища на наявність появи загроз здоров'ю та безпеці мешканців. Функцію спостереження за якістю повітря виконує автономний прилад типу DM72T або його аналог. Прилад має інтерфейс Wi-Fi і може бути підключений до мобільного телефону за допомогою застосунку TuYa Smart. В роботі розглянуто алгоритм підключення приладу до мережі та експериментально досліджено стан повітря у приміщенні. Критерієм якості повітря є результати вимірювання концентрації таких чинників забруднення повітря: легких органічних сполук, формальдегіду, двоокису вуглецю та пилу. В роботі також досліджено екранування приладу металевими пластинами.

Ключові слова монітор якості повітря, бездротовий інтерфейс, розумний дім, інтернет речей.

ВСТУП ТА ОГЛЯД ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Монітор якості повітря типу DM72T – Air Quality Monitor – є універсальним приладом для спостереження за станом повітря в приміщенні. Функція доступу до інтернет-мережі за допомогою застосунку TuYa Smart дозволяє експлуатацію цього приладу в межах технології інтернету речей.

Прилад DM72T має датчики виявлення та вимірювання *концентрації забруднювачів*:

- твердих часток (пилу) типу PM2.5;
- формальдегіду;
- легких органічних сполук;
- двоокису вуглецю.

В Україні дослідники розробляють власні системи моніторингу стану повітря із використанням технологій інтернету речей та платформи Arduino [1]. Основною метою подібних розробок є реалізація технологій розумного будинку на основі бездротового інтерфейсу, яким найчастіше виступає Wi-Fi. Теоретичні основи інтернету речей, які є необхідними при розробках, викладені в численних посібниках, один з яких оприлюдненого цього року [2]. Практичні навички з підключення нових приладів можна здобути при використанні ресурсів компанії Туа, зокрема [3].

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є практичне використання монітору якості повітря відповідно до технології інтернету речей у застосунку TuYa Smart та випробування інтерфейсу Wi-Fi в умовах часткового екранування сигналу.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для зручного користування приладом реалізовано його підключення до функціонального застосунку TuYa Smart, який є доступним як для користувачів ios, так і для android ОС.

Відсканувавши qr-код (Рис. 1) на нижній стороні пристрою та встановивши застосунок на смартфон, можна додати до нього монітор якості повітря, який стане доступний для налаштування сценаріїв керування залежно від кожного вимірюваного параметра.

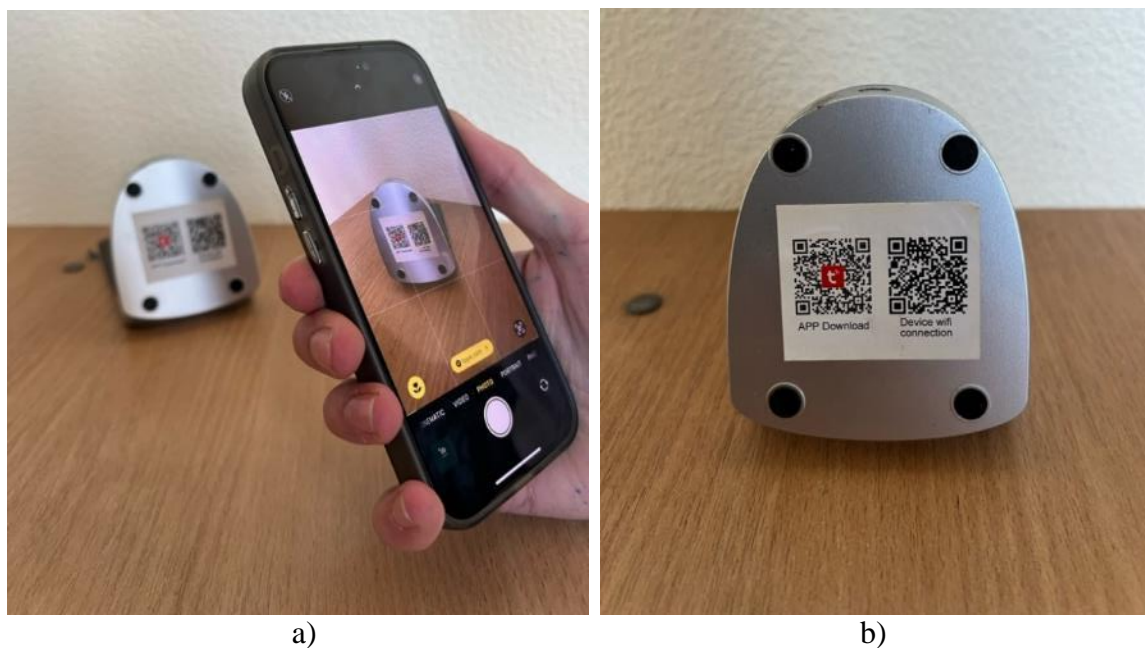


Рис. 1 Сканування qr-коду для отримання доступу до мобільного застосунку TuYa Smart: а) процес сканування; б) нижня частина корпусу приладу DM72T

Щоб з'єднати прилад DM72T із застосунком на мобільному пристрої потрібно виконати ряд дій:

- відкрити застосунок TuYa Smart;
- зареєструватися та натиснути кнопку 'Додати пристрій';
- з другого мобільного пристрою (хосту) роздати стороннє Інтернет-джерело та через додаток підключитись до нього: спочатку – до вимірювального приладу, потім – до точки доступу;
- синхронізуватись через TuYa Smart з мобільною точкою доступу до Air Quality Monitor (Рис. 2).

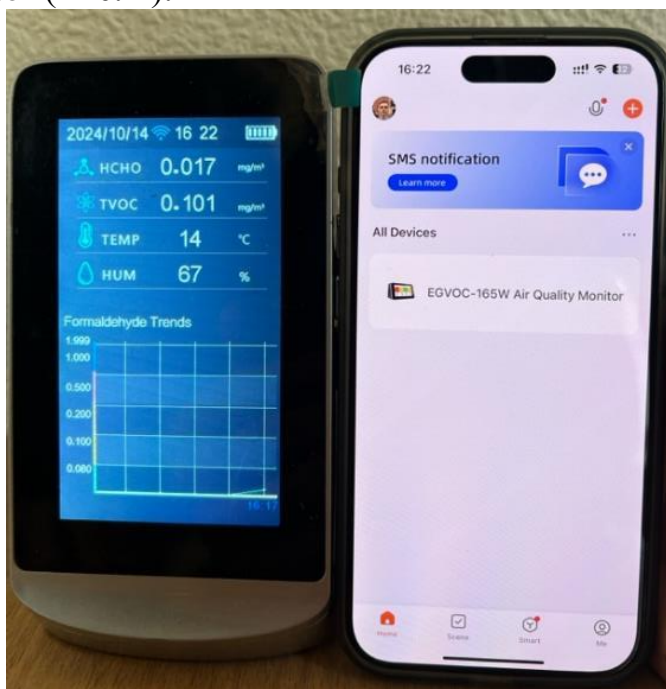


Рис. 2 Додавання приладу EGVOC-165W (аналог DM72T) до застосунку TuYa Smart

Після успішного підключення результати вимірювань концентрації

забруднювачів повітря синхронно виводяться на екран приладу DM72 та на мобільний пристрій (Рис. 3).



Рис. 3 Вимір концентрації пилу та інших забруднюючих речовин: синхронне відображення на екрані приладу DM72T (ліворуч) та на мобільному пристрої (праворуч)

Головне призначення приладів із застосуванням технологій інтернету речей – це забезпечення підвищеного комфорту і безпеки мешканців розумного дому. Архітектура систем розумного дому передбачає постійне підключення усіх приладів до хосту. При зміні локації приладу його зв'язок із хостом зникає і необхідно утворювати нове підключення відповідно до сценарію *Tuya Smart*.

Були проведені дослідження стійкості до завад інтерфейсу Wi-Fi при експлуатації монітору якості повітря за технологією інтернету речей. Завадою тут був металевий екран, який послаблює електромагнітні хвилі на різних частотах, зокрема на частоті 2,4 ГГц, яку використовують Wi-Fi пристрої.

Умови проведення експерименту із стійкості до екранування приладу DM72T були такі:

- ввімкнений прилад DM72T розташовували в сталевій шафі із товщиною стінок 3 мм;
- мобільний телефон, який виконував роль хосту, віддаляли від шафи;
- синхронно із віддаленням хосту на телефоні із встановленим застосунком *Tuya Smart* та підключеним монітором якості повітря спостерігали результати вимірювання концентрації пилу;
- фіксували мінімальну відстань, на якій припинялось оновлення екрану у застосунку *Tuya Smart*.

Результати випробувань показали, що мінімальна відстань екранування дорівнює 4 м. Це доводить високу стійкість бездротового інтерфейсу приладу до завад, зокрема до його суцільного екранування.

В іншому експерименті екран утворювали дві сонячні панелі, між яким розташовували монітор якості повітря. Через одну із панелей (верхню) протікав прямий темновий струм у 4 А від джерела постійної напруги 23 В. Потужність, яку споживала сонячна панель дорівнювала 92 Вт, що призводило до її нагрівання до 31 градуса за Цельсієм. Подібні умови наближені до умов експлуатації панелі при її освітленні і протіканні фотоструму. Інтерфейс Wi-Fi приладу DM72T виявив високу стійкість до екранування сонячною панеллю, застосунок TuYa Smart на телефоні працював на відстані 20 м від монітору якості повітря і періодично оновлював покази.

ВИСНОВКИ

Результатом роботи є експериментальна перевірка алгоритму підключення монітора якості повітря типу DM72T за допомогою застосунку TuYa Smart до мобільного пристрою (смартфону, айфону, планшету тощо). Встановлено, що ефективним методом утворення хостингу на основі інтерфейсу Wi-Fi є застосування другого мобільного пристрою. Таким чином, можливе переміщення разом трьох об'єктів: двох мобільних пристроїв та монітору якості повітря. Такий варіант використання дозволяє сканувати обраний маршрут за концентрацією шкідливих викидів в атмосферу. Таким чином, суттєво розширено функціонал приладу DM72T, а саме використання його в якості рухомої метеостанції для моніторингу якості атмосферного повітря. Зазначимо, що основним призначенням приладу DM72T є моніторинг якості повітря у приміщенні, тобто в режимі постійної локалізації. Випробування технології інтернету речей в умовах екранування довели високу стійкість бездротового інтерфейсу, що дозволяє його використання зокрема в інтелектуальних сонячних модулях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] О. Павелко, Л. Куликовська, А. Тіменко, “Автоматизована система моніторингу якості повітря”, Modeling, control and information technologies: Proceedings of VI International scientific and practical conference, No. 6, (2023), pp. 238-241. DOI: <https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.074>
- [2] S. Kumar, “Fundamentals of Internet of Things”, Champion and Hall/CRC, (2024), 264 p.
- [3] <https://tuya-smart-life-ua.prom.ua/g131773799-priladi>

Наук. керівник –к.т.н., доцент каф. ІВТ Божко К.М.

УДК 621.317

*В.В. Жидков, В.В. Рожков, студенти гр. ПІ-32мп, PhD, доц. Дорожнинська Г.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ВПЛИВ ВИПАРІВ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН НА ВІДГУК ППР-СЕНСОРА

Анотація. У роботі розглянуто вплив випарів органічних речовин на відгук ППР-сенсора. Представлено принцип дії ППР-сенсора, що базується на зсуві резонансного кута, та описано основні критерії ефективності таких систем. Проведено чисельне моделювання до газоподібних органічних речовин без та з нанесенням додаткового діелектричного шару.

Ключові слова: ППР-сенсор, органічні речовини, діелектричний шар

ВСТУП

Сучасні дослідження у сфері сенсорних технологій активно спрямовані на вдосконалення методів виявлення органічних речовин, зокрема випарів, у різних середовищах. Органічні речовини у вигляді випарів широко присутні в навколишньому середовищі та відіграють значну роль у технологічних, екологічних і медичних процесах. Органічні речовини у вигляді випарів постійно оточують нас в навколишньому середовищі та відіграють значну роль у технологічних, екологічних і медичних процесах. Їхній контроль є важливим для забезпечення контролю якості повітря, ранньої діагностики захворювань та аналізу стану довкілля.

МЕТА РОБОТИ

Сучасні технології вимагають високочутливих методів аналізу, які б дозволяли оперативно та точно визначати концентрацію таких речовин. Сенсори на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР) вважаються найбільш перспективними для вимірювання малих концентрацій досліджуваних сполук та проведення аналізу процесів у нанорозмірних шарах у режимі реального часу [1]. Основними критеріями ефективності сенсорів є можливість адаптації їхніх параметрів до певного класу молекул та здатність визначати незначні зміни фізико-хімічних характеристик досліджуваного середовища. Методи, що базуються на явищі поверхневого плазмонного резонансу, привертають увагу науковців завдяки здатності фіксувати взаємодії без застосування міток, а також вирізняються винятковою чутливістю, точністю і відтворюваністю результатів вимірювань [2]. Підвищення точності та швидкості вимірювань є ключовою задачею у застосуванні ППР-сенсорів для моніторингу випарів органічних речовин.

ПРИНЦИП ДІЇ ППР-СЕНСОРА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

ППР-сенсор складається з металевої плівки, нанесеної на скляну підкладку, яка розміщується на скляній призмі. Коли на металеву плівку падає світло від джерела монохроматичного випромінювання під певним кутом (резонансним кутом θ_{min}) з боку більш оптично густішого середовища (з боку призми) в діапазоні кута повного внутрішнього відбиття $\theta_{\text{ПВВ}}$, відбувається явище ППР, що призводить до зменшення інтенсивності відбитого світла, яка реєструється фотоприймачем. Резонансний кут θ_{min} залежить від довжини хвилі падаючого світла та оптичних властивостей середовища, що знаходиться на

поверхні сенсора. Відгуком ППР-сенсора $\Delta\theta$ є зсув θ_{\min} характеристики відбиття, яка представляє собою графік залежності інтенсивності відбитого світла від кута його падіння (Рис. 1).

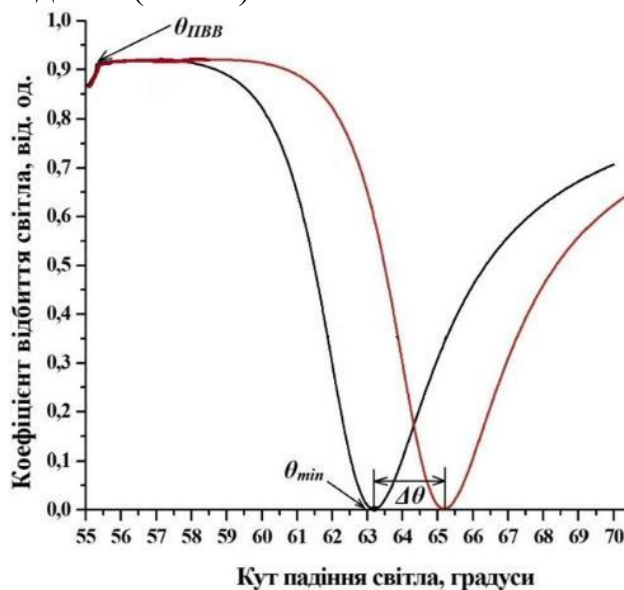


Рис.1. Характеристика відбиття ППР-сенсора

Одним з відомих напрямків підвищення відгуку ППР-сенсора є підвищення адсорбційної здатності поверхні металевого шару. Для цього чутливий елемент додатково покривають зі сторони досліджуваного середовища додатковими діелектричним шарам органічного чи неорганічного походження з розвиненою поверхнею [3]. Тому дана робота присвячена впливу на відгук ППР-сенсора випарів органічних речовин без та з нанесенням на золоту плівку додаткового діелектричного шару.

Визначали відгук сенсора як величину зсуву θ_{\min} при заміщенні повітря на насичені пари газоподібних органічних речовин. Об'єктами дослідження були 4 газоподібні органічні речовини: ацетон, ізопропанол, метанол і гексан. Для теоретичного розрахунку відгуку сенсора було проведено чисельне моделювання в програмному середовищі MathCad, в якому проаналізовано багат шарову структуру, яка складається: «призма – нанорозмірна плівка золота – органічна речовина (аналіт) - повітря». Було проведено додаткове чисельне моделювання з нанесенням діелектричного шару PTFE товщиною $d = 30$ нм і визначено його вплив на відгук сенсора. Теоретичні характеристики відбиття $R(\theta)$ будувались для багат шарової системи і р-поляризованого монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 650$ нм та золотою плівкою товщиною $d = 43$ нм, з використанням оптичної моделі в рамках макроскопічного підходу Максвелла, рівнянь Френеля і математичного формалізму матриць розсіювання Джонса [4], яка описана у роботі Чегеля [5]. Були визначені значення показників заломлення n_D та значення кута мінімуму θ_{\min} досліджуваних органічних речовин, а також розраховано значення кута мінімуму θ_{\min} та різницю відгуку $\Delta\theta_{\min}$ ППР-сенсора (Рис. 2).

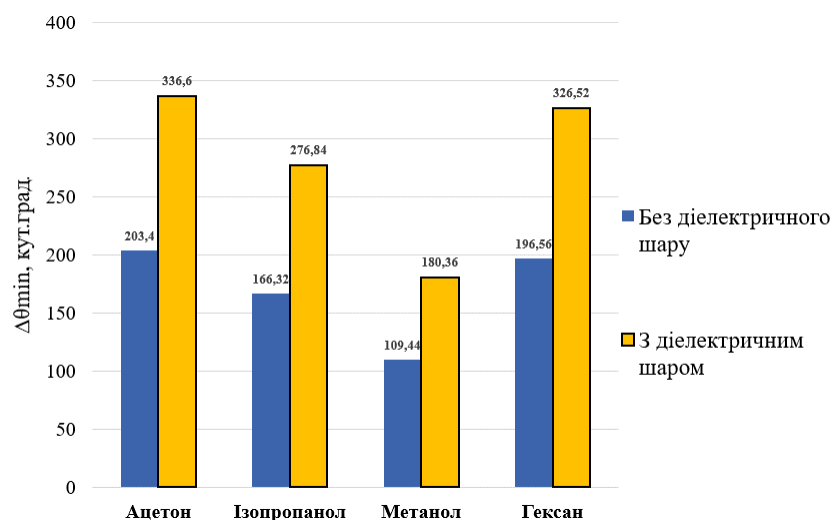


Рис.2. Розраховані теоретичні $\Delta\theta_{\min}$ ППР-сенсора без та з нанесенням діелектричного шару на довжини хвилі 650 нм для органічних речовин: ацетон, ізопропанол, метанол, гексан

ВИСНОВКИ

За результатами розрахунків було визначено, що наявність додаткового діелектричного шару на поверхні металевої плівки підвищило відгук ППР-сенсора. Діелектричний шар значно підвищує чутливість ППР-сенсора при визначенні органічних речовин. Це відображається у більш значних відмінностях значення θ_{\min} між речовинами після нанесення шару, що дозволяє краще розрізняти різні органічні сполуки.

Найбільший відгук спостерігається для ацетону та гексану, тоді як метанол демонструє найменший відгук. Це може бути корисним для налаштування сенсора під специфічні органічні середовища. Результати проведеного дослідження будуть використані у процесі розробки системи на основі явища поверхневого плазмонного резонансу для визначення концентрації випарів органічних речовин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Homola J., Yee S. and Gauglitz G. Surface plasmon resonance sensors: review. *Sensors and Actuators B*. 1999. 54. P.3–15.
- [2] Дорожинська Г. В., Григорчук М. О., Дорожинський Г. В. Визначення товщини плазмон-носійних шарів фотометричним методом / *Оптоелектроніка та напівпровідникова техніка*. – 2022. – №57. – С. 152-159.
- [3] Дорожинська, Г. В. Підвищення метрологічних характеристик сенсора на основі явища поверхневого плазмонного резонансу. 2021.
- [4] R. M. A. Azzam, and N. M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized Light*. North-Holland Publishing Company, 1977.
- [5] V. I. Chegel, "Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As₂S₃ structures using surface plasmon resonance spectroscopy", *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, vol. 4, no. 4, pp. 301-306, 2001.

Наук. керівник – PhD, доцент Дорожинська Г. В.

УДК 681.7.069.24

А.А. Ільченко, студ. гр. ПІ-32мп, П.Д. Семенухін, студ. гр. ПІ-31мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ФЛУОРЕСЦЕНТНИЙ ВИМІРЮВАЧ ШВИДКОСТІ УТВОРЕННЯ ХЛОРОФІЛУ У РОСЛИНАХ

Анотація. В даній роботі досліджено пристрій для вимірювання швидкості утворення хлорофілу у рослинах методом флуоресцентного аналізу. Використано схему із двома каналами, які утворені смуго-проникаючими фільтрами в діапазоні 700-730 нм і 780-820 нм та фотодіодними приймачами. Опромінення рослин виконувалось синім лазером потужністю 5 мВт і довжиною хвилі 445 нм. Сигнал був модульований прямокутними імпульсами з частотою 150 Гц. Існуючі наразі схеми аналогів дозволяють виконувати вимірювання на живих рослинах в умовах затінення і тривалої витримки об'єкту вимірювання в темряві. Розділу на під-діапазони випромінювання в цих приладах не передбачено. На явність двох незалежних каналів у різних частинах спектру флуоресцентного сигналу дозволяє отримати більш точну інформацію про його динаміку і на основі аналізу цієї інформації більш точно моделювати процес утворення хлорофілу в рослинах.

Ключові слова: фотодіод, флуоресценція, хлорофіл, смуго-проникаючий фільтр.

ВСТУП

Дослідження динаміки флуоресцентного сигналу при утворенні хлорофілу рослинами надає достатню інформацію про біохімічні реакції в клітинах та може свідчити про стан здоров'я рослин та прогнозувати їх врожайність.

В роботі запропоновано двоканальну схему вимірювача сигналу флуоресценції з розділенням сигналу по ділянкам спектру:

- від 700 до 730 нм;
- від 780 до 820 нм.

Збудження флуоресценції відбувається при впливі лазерних імпульсів тривалістю приблизно 7 нс при довжині хвилі 445 нм.

ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

Експериментальні методи фотохімії та фотофізики розділяють на такі головні класи:

- надшвидка молекулярна спектроскопія;
- емісійна флуоресцентна спектроскопія;
- імпульсна спектроскопія;
- імпульсна кінетична спектроскопія.

При дослідженні флуоресценції рослин найбільш важливим параметром є час затухання. Методи вимірювання часу затухання флуоресценції мають таку класифікацію:

- метод фазового зсуву;
- метод шумового биття лазерного випромінювання;
- метод електронно-оптичної хроноскопії;
- флуоресцентна кореляційна спектроскопія.

Сучасний стан розвитку методів флуоресцентного аналізу викладено в монографії [1].

На важливість методів фотохімії та фотофізики в дослідженні процесу фотосинтезу рослин вказано в [2].

Українські вчені також долучились до теоретичних та експериментальних досліджень флуоресценції рослин [3]. Ними зокрема проаналізовано похибки

методу флуоресцентного аналізу.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є обґрунтування конструкції засобу флуоресцентного аналізу для контролю процесу утворення хлорофілу в рослинах.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для розробки засобу флуоресцентного аналізу були визначені параметри процесу утворення хлорофілу та флуоресценції рослин при опроміненні їх світлом синього лазера (Рис. 1).



Рис. 1 Флуоресценція рослини при опроміненні її світлом синього лазера: на поверхні листа виникає ледь помітна жовтувата пляма

Запропонована конструкція вимірювального засобу має такі складові:

- двоканальний цифровий осцилограф із смугою пропускання 100 МГц;
- синій лазер потужністю 5 мВт та довжиною хвилі 445 нм;
- імпульсний генератор;
- джерело живлення лазера;
- транзисторний ключ для комутації кола живлення лазера;
- два світлових фільтри із смугами пропускання 700-730 нм та 780-820 нм;
- два фотоприймачі із керованим коефіцієнтом підсилення 10-100.

Структурна схема вимірювача швидкості утворення хлорофілу у рослинах наведена на Рис. 2.

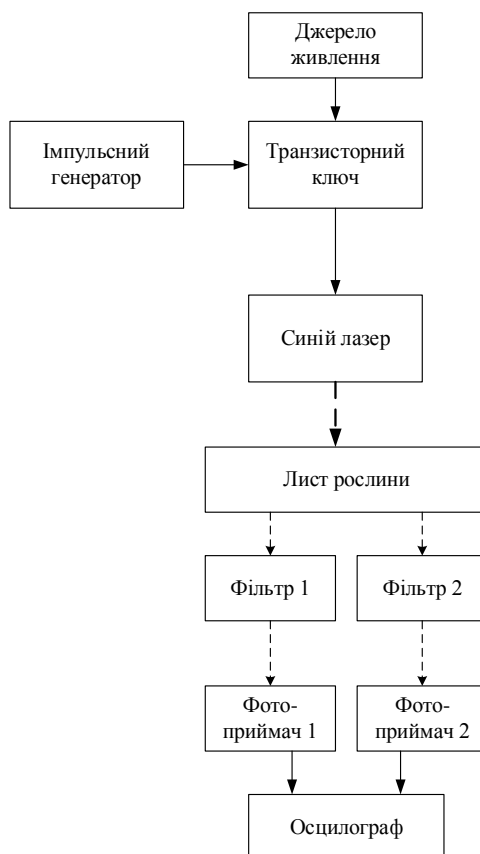


Рис. 2 Структурна схема вимірювача швидкості утворення хлорофілу

Результатом осцилографічних вимірювань є отримання амплітуди та часу тривалості сигналу флуоресценції хлорофілу в рослині. Осцилограф дозволяє вимірювати часові інтервали від 2-5 нс.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень розроблено структурну схему вимірювача швидкості утворення хлорофілу в рослинах на основі осцилографічних вимірювань параметрів сигналу на двох незалежних каналах фотодатчиків

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] V. Balzoni, P. Ceroni, A. Juris, "Photochemistry and Photophysics: Concepts, Research, Applications, 2-nd Edition, Wiley, (2024), 560 p.
- [2] D. Poelman, "The Role of Photophysics in Photochemistry, Photochemistry, (2024), 4, pp. 219-221. DOI: 10.3390/photochem4020013
- [3] М.П. Карпінський, А.С. Ляпандра "Особливості побудови комп'ютерної системи для біохемілюмінометричних досліджень", Вісник Хмельницького національного університету, (2005), № 6, Т.2., С. 167–171.

Наук. керівник –к.т.н., доцент каф. ІВТ Божко К.М.

УДК 621.317.7

*К.А. Кисельова, студент гр. ПІ-з31мп, к.т.н., доц. Мокійчук В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕНСОРІВ КИСНЮ

Анотація. У роботі розглянуто основна структура газоаналітичних систем моніторингу. Проаналізовано методи покладені в основу роботи газоаналізаторів та наведі характеристики та переваги сенсорів концентрації кисню.

Ключові слова: ГСЕМ, газоаналізатори.

ВСТУП

Газоаналітична система екологічного моніторингу (ГСЕМ) складається з сукупності стаціонарних газоаналізаторів для виміру концентрацій димових газів і пилу (CO , SO_2 , NO_x , CH) з системою забору і підготовки проби, датчиків температури, тиску і інших параметрів димового потоку. Важливою складовою ГСЕМ є наявність витратоміра димового потоку. Такі системи знайшли найбільше розповсюдження в Західній Європі, США (західна класифікація таких систем – CEMS). Слід відмітити, що в більшості країн нормуються не концентрації димових газів, а масові викиди цих газів. Тому наявність в складі ГСЕМ витратомірів є обов'язковою, як і відповідного програмного забезпечення.

Методи, покладені в основу роботи газоаналізаторів для контролю забруднення атмосферного повітря, повинні мати дуже високу чутливість і вибірковість до кожного аналізованого компонента, а також дозволяти здійснювати безупинний аналіз без спеціального відбору і підготовки проби.

Для контролю SO_2 використовується метод ультрафіолетової молекулярної флуоресценції. Він заснований на збудженні молекул SO_2 УФ випромінюванням з наступною реєстрацією інтенсивності флуоресцентного випромінювання, що виникає при переході молекул зі збудженого стану в основне. Інтенсивність флуоресцентного випромінювання є мірою концентрації SO_2 в атмосферному повітрі [1].

Для контролю NO , NO_2 використовується хемілюмінесцентний метод аналізу. Він заснований на залежності інтенсивності хемілюмінесцентного випромінювання від концентрації оксиду азоту в аналізованій газовій суміші. У газоаналізаторах оксидів азоту використовується хімічна реакція між озоном і оксидом азоту, у результаті якої утворюються збуджені молекули NO_2 . Перехід молекул NO_2 в основний стан супроводжується хемілюмінесцентним випромінюванням. На базі цього методу розроблена модель (645ХЛ 10) автоматичного газоаналізатора оксидів азоту [2].

Для контролю CO використовується електрохімічний метод газового аналізу. Він заснований на принципі перетворення концентрації оксиду вуглецю в електричний струм на основі електрохімічного ефекту. Цей ефект спостерігається в результаті електролізу постійним струмом при збереженні визначеного потенціалу на поверхні електрода. Сила струму, який генерується триелектродною електрохімічною коміркою, прямо пропорційна концентрації оксиду вуглецю в аналізованому повітрі [3].

Вибір сенсора для портативного вимірювача концентрації кисню залежить від таких факторів, як необхідна точність вимірювання, робочий діапазон,

швидкість відгуку, вартість та інші параметри. Ось найпоширеніші типи сенсорів, які використовуються в таких приладах:

Електрохімічні сенсори - це найбільш поширений тип сенсорів для вимірювання кисню. Їх принцип роботи заснований на електрохімічній реакції, в результаті якої виникає електричний струм, пропорційний концентрації кисню. Переваги таких сенсорів: висока чутливість, низька вартість, компактність. Недоліки схильні до впливу інших газів, можуть потребувати періодичної заміни.

Парамагнітні сенсори - ці сенсори використовують парамагнітні властивості кисню. Кисень притягується до магнітного поля, що призводить до зміни індуктивності котушки. Цей метод забезпечує високу точність вимірювання, стійкість до впливу інших газів, але такі сенсори, як правило, дорожчі та більші за розмірами.

Люмінесцентні сенсори - принцип роботи заснований на згасанні люмінесценції спеціального матеріалу при взаємодії з киснем. Ці сенсори відрізняються високою чутливістю та можливістю вимірювання в агресивних середовищах, але з недоліків це схильність до впливу температури та їх вартість, яка є доволі високою.

Термоелектричні сенсори - ці сенсори використовують різницю температур між двома точками, викликану теплопровідністю кисню. Вони відрізняються високою надійністю та довгим терміном служби.

Для забезпечення точності вимірювань сенсори необхідно періодично калібрувати. Вибір сенсора залежить від конкретного застосування. Наприклад, для медичних цілей можуть використовувати сенсори з вузьким діапазоном вимірювання, а для промислових - з широким.

Діапазон вимірювання сенсора концентрації кисню визначає мінімальну та максимальну концентрацію кисню, яку прилад може точно виміряти. Цей параметр залежить від типу сенсора та його конструкції. Розглянемо типові діапазони для різних типів сенсорів в табл. 1.

Таблиця 1. Типові діапазони для аналізаторів кисню

<i>Тип сенсора</i>	<i>Діапазон вимірювання (приблизно)</i>	<i>Точність</i>	<i>Недоліки</i>
Електрохімічний AS-8901	0-25% об.%	±1,5%	Вплив інших газів, необхідність заміни
Парамагнітний ZAJ-6	0-100% об.%	±0,01%	Вища вартість, більші розміри
Люмінесцентний O _{xy} QC	0-25% об.%	±0,01%	Висока вартість, вплив температури
Термоелектричний GGO 370 / MU	0-100% об.%	±0,5%	Низька чутливість, великі розміри



Рисунок 1. Газоаналізатор кисню AS-8901

Датчики кисню, або оксигенатори, широко використовуються в різних сферах для моніторингу, контролю та оптимізації процесів. Ось основні області їх застосування:

1. Медицина. Аналіз стану пацієнтів: У пульсоксиметрах для моніторингу насичення крові киснем. Це важливо для діагностики респіраторних і серцево-судинних захворювань. Анестезія та інтенсивна терапія: Для контролю рівня кисню в крові пацієнтів під час операцій або в реанімаційних відділеннях.

Респіраторна техніка: у системах штучної вентиляції легень.

2. Промисловість. Хімічна та нафтохімічна галузі: контроль кисню у технологічних процесах для запобігання небезпечним реакціям, наприклад, вибухам. Металургія: вимірювання рівня кисню під час плавлення металів для забезпечення якості продукції. Харчова промисловість: упаковка в модифікованій атмосфері (контроль рівня кисню для збереження продуктів).

3. Екологія та контроль навколишнього середовища. Водопостачання та очищення води: Аналіз вмісту розчиненого кисню у воді для оцінки її якості та підтримання життя в екосистемах. Моніторинг повітря: контроль забруднень і рівня кисню в атмосфері, особливо на промислових підприємствах.

4. Автомобільна промисловість. Двигуни внутрішнього згоряння: лямбда-зонди (датчики кисню) використовуються для контролю співвідношення паливо-повітря, що впливає на економічність і зниження викидів.

5. Наукові дослідження. Використовуються у лабораторіях для досліджень в галузі біології, хімії та фізики.

6. Побутова техніка. У кондиціонерах і системах вентиляції для регулювання рівня кисню в приміщеннях.

Використання датчиків кисню допомагає підвищувати ефективність процесів, забезпечувати безпеку та зберігати навколишнє середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Міхеева І. Л. Флуоресцентний газоаналізатор діоксиду сірки (SO_2) в атмосферному повітрі // *Методи та прилади контролю якості*, 2002. – №9. – С.68-71.
- [2] Міхеева І. Л., Курінний В. К., Мазира Л.Д. Хемілюмінесцентний метод газового аналізу оксидів азоту (NO , NO_2) // *Вісник НТУУ "КПІ", серія Приладобудування*, 2004. – № 28. – С.46-54.
- [3] Михеева И. Л., Куринный В. К., Таякин В. Ю., Мазира Л. Д. Автоматические газоанализаторы загрязнения атмосферного воздуха // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2003. – №1. – С.28-31.

УДК 534, 62-50, 621.317.7

В.О. Коломійченко, студент гр. ПІ-4Імп, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ І МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЛИВНИХ УСТАНОВОК

Анотація. Робота присвячена дослідженню методів вимірювання та модернізації проливних установок для повірки лічильників води. Розглянуто сучасні підходи до забезпечення точності вимірювань, впровадження новітніх компонентів, таких як частотний перетворювач і контролер. Модернізація дозволила зменшити похибки та забезпечити відповідність вимогам метрологічних стандартів.

Ключові слова: проливна установка, повірка лічильників, модернізація, точність.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Лічильники води є важливим компонентом сучасних систем обліку ресурсів у житлових та промислових об'єктах. Вони відіграють ключову роль у забезпеченні справедливого розподілу витрат на водопостачання та є основою для формування техніко-економічних рішень, спрямованих на зменшення втрат та раціональне використання водних ресурсів. Точність їх роботи має вирішальне значення для коректності фінансових розрахунків і планування. З часом лічильники втрачають точність через зношення механізмів, забруднення чи пошкодження, тому їх необхідно регулярно повіряти, щоб забезпечити відповідність державним стандартам та уникнути значних похибок у вимірюваннях. Сьогодні стає очевидною необхідність модернізації застарілих проливних установок, які використовуються для повірки лічильників, щоб зробити цей процес більш ефективним, зручним і менш залежним від людського фактору.

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ

Методи вимірювання у проливних установках базуються на різних фізичних принципах, що дозволяють забезпечити точність та відповідність стандартам. Одним із найбільш поширених є об'ємний метод, у якому вимірюваний об'єм рідини порівнюється з показаннями еталонного витратоміра. Цей метод є універсальним і використовується для перевірки лічильників різного діаметра. Масовий метод, що базується на вимірюванні маси води з урахуванням її температури та густини, забезпечує високу точність, але потребує складнішого обладнання. Метод звіряння дозволяє порівнювати дані, отримані від еталонного витратоміра та лічильника, що повіряється, у реальному часі. Кожен із цих методів має свої переваги й недоліки, тому сучасні установки часто комбінують їх для досягнення найкращих результатів. Такі підходи забезпечують точність вимірювань, мінімізують похибки та дозволяють адаптувати систему до різних умов експлуатації. [1]

Принципи роботи проливних установок пройшли значну еволюцію. Перші установки функціонували на основі мірних ємностей, де витрати налаштовувалися вручну за допомогою засувки. Ці системи мали обмежену точність і залежали від людського втручання. Наступні етапи розвитку включали впровадження замкнених контурів із використанням насосів для циркуляції води, що дозволило зменшити витрати ресурсів. Поява електронних ваг та витратомірів у третьому та четвертому етапах розвитку проливних установок

дозволила значно підвищити точність вимірювань. На сучасному етапі установки оснащені програмно-апаратними комплексами, які автоматизують весь процес повірки, від налаштування витрат до збору та обробки даних. Такі системи дозволяють інтегрувати всі компоненти установки в єдину інформаційну мережу, забезпечуючи зручність управління та високу точність [2].

Вимоги, характеристики та принципові схеми повірочних установок. Принципова схема вимірювальної частини установки з оптоелектронним вузлом знімання сигналів для повірки лічильників та однієї міри вмисності наведені на рис.1.

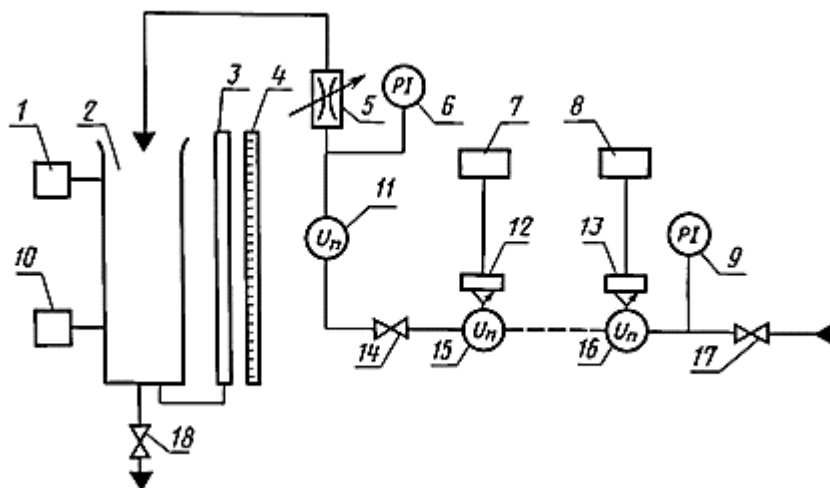


Рис. 1. Принципова схема вимірювальної частини установки з оптоелектронним вузлом з'йому сигналів: 1,10 – сигналізатор рівня, 2- міра ємності, 3-показник рівня, 4- рейка шкали, 5 - регулятор витрат, 6,9-манометри, 7,8 - лічильник імпульсів, 11- вказівник витрат, 12,12- вузол знімання сигналів, 14,17-вентиль, 15,16-лічильник, 18 зливний клапан [3]

Результати модернізації проливної установки УППР80 підтвердили ефективність впровадження сучасних технологій. Встановлення контролера SIEMENS SIMATIC S7-1200 дозволило автоматизувати всі процеси, від підтримки стабільності витрат до реєстрації результатів. Частотний перетворювач SINAMICS V20 забезпечив плавне регулювання роботи насосів, знизивши енергоспоживання та підвищивши точність регулювання витрат. Оновлене програмне забезпечення забезпечило інтеграцію всіх компонентів у єдину систему, спростило обслуговування та підвищило зручність використання. Завдяки модернізації похибка вимірювань була знижена до $\pm 0,2\%$, що значно покращує точність порівняно з попередніми показниками.

Модернізація також мала позитивний вплив на зручність експлуатації установки. Використання сучасних компонентів, таких як електронні ваги, витратоміри та частотні регулятори, дозволило значно зменшити вплив людського фактора. Система стала здатною автоматично налаштовувати витрати, виконувати повірку та формувати звіти без значного втручання оператора. Це суттєво знизило затрати часу і ресурсів, підвищило точність результатів та забезпечило відповідність установок сучасним метрологічним стандартам. Крім того, впровадження енергозберігаючих компонентів зробило установку більш економічно ефективною в експлуатації. [4]

ВИСНОВОК

Результати роботи демонструють важливість використання сучасних технологій для забезпечення точності та надійності метрологічних установок. Модернізація проливної установки є економічно доцільною, адже дозволяє мінімізувати похибки, спрощує експлуатацію та забезпечує відповідність сучасним стандартам. Застосування новітніх рішень відкриває перспективи для впровадження аналогічних удосконалень у більш широкій сфері метрологічного обладнання, що сприятиме підвищенню ефективності обліку ресурсів у комерційних та промислових цілях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] «Правила надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення», затверджених Постановою Кабінету Міністрів України від 21.07.2005 № 630 пункт 32
- [2] ISO/IEC 17025:2006 „Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій”
- [3] «Положення про Міністерство економічного розвитку і торгівлі України Закону України —Про метрологію та метрологічну діяльність», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 20 серпня 2014 року № 459
- [4] 12. Лабунський В. Удосконалення методу повірки лічильників води/ В.Лабунський, Н.Защепкіна, А.Лабунська// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. №2.- 2023.с.43-49.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.

УДК 621.383.51

К.В. Кравченко, П.С. Терещенко, студ. гр. ПІ-22.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ МЕТОДОМ ЗБУДЖЕННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ

Анотація. Електрична ємність є важливим параметром сонячної панелі, який потрібно враховувати при динамічних навантаженнях сонячної системи живлення. Крім того, отримання вольт-фарадної характеристики дозволяє визначити такі важливі параметри напівпровідникового матеріалу, як населеність рівнів та концентрація носіїв. При тривалій експлуатації сонячної панелі в її елементах можуть розвиватися процеси деградації, наслідком чого є суттєве зниження її коефіцієнту корисної дії. Отримання вольт-фарадних характеристик в процесі експлуатації сонячної панелі дозволяє більш точно прогнозувати зміну її параметрів і в плановому порядку підготуватись до її заміни на нову панель. Використання цифрового осцилографу під час вимірювання електричної ємності є ефективним і зручним, що доводять результати даного дослідження.

Ключові слова: фотоелектрична сонячна панель, електрична ємність, коливальний контур, цифровий осцилограф

ВСТУП ТА ОГЛЯД ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Вимірювання електричних параметрів сонячних панелей зазвичай необхідні при їх експлуатації. На основі результатів цих вимірювань працює алгоритм перетворення постійного електричного струму до синусоїдальної форми (функція так званого інвертора), а також виконуються умови для максимальної віддачі енергії до навантаження. Остання функція має назву траєкторії точки максимальної потужності – MPPT – Maximum Power Point Tracer.

Одним із важливих параметрів сонячної панелі є її електрична ємність, яку треба враховувати в динамічному режимі, зокрема в роботі інвертора, а також при ємнісному або індуктивному навантаженні.

Проблеми вимірювання електричної ємності та імпедансу сонячних панелей присвячено роботу [1].

В роботі [2] наведено приклад автономної системи вимірювання масиву сонячних панелей, в якій кожна із панелей має вимірювальні канали струму і напруги. Усі вимірювальні канали об'єднані за допомогою мікроконтролера, який керує перетворювачем і подальшою подачею електроенергії до споживача. Окрім електричних параметрів система має канали вимірювання температури, освітленості і вологості, що дозволяє здійснювати кліматичний моніторинг сонячної електростанції в режимі реального часу.

Моделюванню системи вимірювання електричних параметрів сонячної панелі в середовищі LabVIEW присвячено роботу [3].

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є розробка лабораторного стенду для вимірювання електричної ємності сонячної панелі методом збудження в її колі вільних коливань.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для вимірювання електричної ємності осцилографічним методом було утворено вимірювальне коло у складі сонячної панелі, котушки індуктивності і транзисторного ключа. Управління ключом здійснювали періодичною подачею

прямокутних імпульсів від генератора. При цьому в колі протікав струм короткого замикання. На фоні постійної напруги в контурі, який утворюють ємність сонячної панелі і котушка індуктивності виникали вільні коливання, які швидко затухали. Проте, час коливального процесу був достатній для вимірювання періоду коливань. Частота коливань дорівнює резонансній частоті контуру, тому за її величиною можна розрахувати ємність. Послідовний коливальний контур утворюють ємність сонячної панелі та індуктивність зовнішньої котушки. Освітлювали панель імітатором сонячного освітлення на галоген-вольфрамовій лампі.

Ємність C розраховували за формулою:

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} \quad (1)$$

де f – частота коливань, L – індуктивність.

Лабораторний стенд для вимірювання електричної ємності сонячної панелі наведено на Рис. 1.

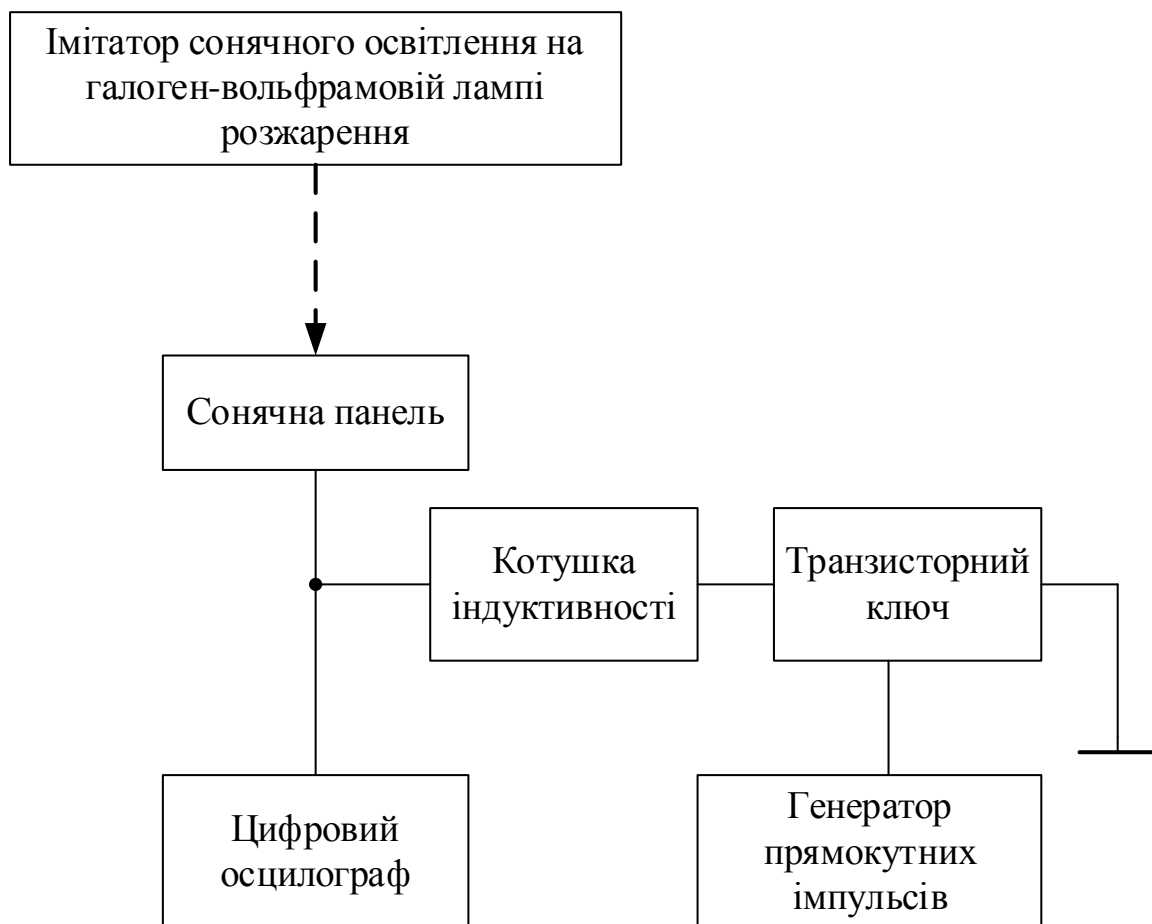


Рис. 1 Лабораторний стенд для вимірювання ємності сонячної панелі

Розглянутий метод вимірювання ємності передбачає використання цифрового осцилографа, тому його називають осцилографічним.

Після отримання осцилограми коливань, які швидко затухають, вимірюють їх частоту, для чого можна використати вертикальний курсор (Рис. 2).

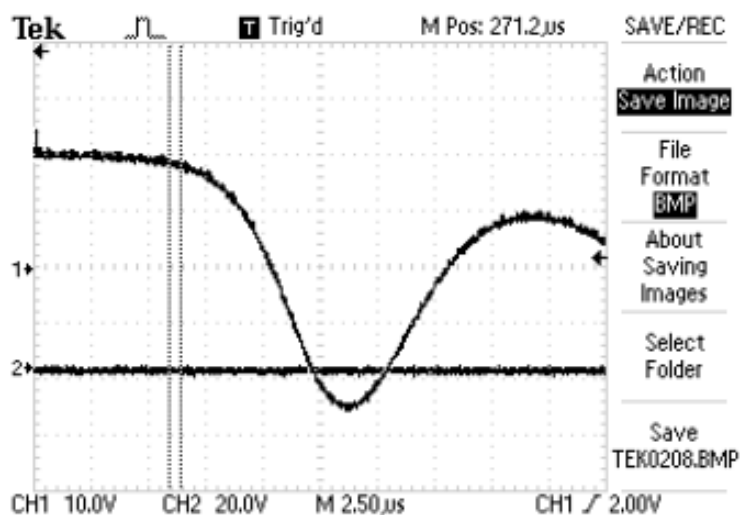


Рис. 2 Збудження вільних коливань в колі сонячної панелі: частота коливань 64,5 кГц

В досліді (Рис. 1) використали кремнієву сонячну панель 12 В, 40 Вт та котушку індуктивності 41,7 мкГн. Для отриманої частоти 64,5 кГц за формулою (1) була розрахована електрична ємність сонячної панелі C , яка дорівнює 146 нФ, що є типовим значенням для панелей середньої потужності.

ВИСНОВКИ

Результатом роботи є лабораторний стенд з вимірювання електричної ємності сонячної панелі методом збудження вільних коливань.

Отримані результати роботи можуть бути корисними при розробці інтелектуального сонячного модуля, в якому необхідно проводити періодичні вимірювання електричних параметрів, зокрема електричної ємності. Прогнозування розвитку деградаційних процесів в сонячних елементах панелі є однією із задач алгоритму роботи інтелектуального сонячного модуля і цю задачу він може виконувати за результатами вимірювання електричних параметрів, зокрема ємності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] D. Chenvidhya, K. Krtikara, C. Jivacate, "PV module dynamic impedance and its voltage and frequency dependencies", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 86, Iss. 2, (2005), pp. 243-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.07.005>
- [2] A. Sani et al., "Measuring the commercial solar panel performance", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Iss. 420, (2018), 7p. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/420/1/012051>
- [3] N. Watjanatepin, P. Kiatsookkanatorm, "The Measurement of Electrical Parameters for a Solar Cell I-V Characteristic Curve by Using Simple Resistive Load Based on LabVIEW", *International Journal of Computer Electrical Engineering*, Volume 10, Number 3, (2018), pp. 205-212. DOI: <https://doi.org/10.17706/ijcee.2018.10.3.205-212>

Наук. керівник – к.т.н., доцент каф. ІВТ Божко К.М.

УДК 504.3.054

Є. В. Михайлов, студент гр. ПІ-31мп, д.т.н., проф. Защепкіна Н. М.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ НА ДОРОГАХ

Анотація. Визначення рівня запиленості повітря на дорогах є важливим аспектом екологічних досліджень. Пил включає дрібні частки, що утворюються з органічних і неорганічних джерел, впливаючи на якість повітря. Він шкодить здоров'ю людини, спричиняючи захворювання дихальних шляхів і алергії, а також негативно впливає на екосистеми. Вразливими до впливу пилу є люди, що часто перебувають на вулиці, зокрема працівники дорожніх сервісів, велосипедисти, пішоходи, а також діти та люди похилого віку. Постійний контакт з забрудненим повітрям може призводити до серйозних проблем зі здоров'ям, таких як хронічний бронхіт, астма та інші респіраторні захворювання. Розробка інформаційно-вимірювальних систем для моніторингу запиленості сприяє збереженню екологічної рівноваги та здоров'я населення, дозволяючи вчасно виявляти забруднення і вживати необхідних заходів для захисту громадян.

Ключові слова: запиленість, PM2.5 PM10, рівень запиленості, оптичний метод, гравіметричний метод, електростатичний метод.

ВСТУП

Концентрація пилу в повітрі, особливо в міських районах, стрімко зростає через викиди транспорту, зношування доріг і будівельні роботи. Дрібнодисперсний пил (PM10, PM2.5) негативно впливає на здоров'я та стан екосистеми, спричиняючи ризик захворювань дихальної і серцево-судинної систем. Розробка інформаційно - вимірювальної системи сприятиме моніторингу на дорогах в реальному часі. Мета дослідження — запропонувати ефективні інженерні рішення для покращення екологічного моніторингу та оцінити методи визначення пилу, їх технічні та економічні переваги.

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ УТВОРЕННЯ PM2.5 І PM10.

Інформаційно-вимірювальні системи для моніторингу дорожнього пилу стають актуальними в умовах сучасних екологічних викликів. Аналіз наукових підходів до вимірювання PM2.5 і PM10 дозволяє оцінити їх ефективність і практичне застосування, що сприяє розробці інноваційних рішень для підвищення точності та доступності вимірювань. Пил, як сукупність твердих частинок різного розміру, впливає на здоров'я людини та довкілля. Частинки пилу (PM) включають тверді речовини й краплі рідини в повітрі, які варіюються за розмірами — від видимих неозброєним оком до тих, що потребують електронного мікроскопа для виявлення. В таблиці 1 наведені характеристики та чинники утворення пилу [1].

Таблиця 1 – Різновиди пилу та їх джерела

Найменування	Розмір (мкм)	Джерела	Вплив на здоров'я
PM10	< 10	Викиди ґрунту, будівництва, транспорту	Подразнення дихальних шляхів, кашель
PM2.5	< 2.5	Спалювання палива, аерозолів вичопного вторинних	Респіраторні захворювання, серцево-судинні проблеми

Аналіз джерел був спрямований на ідентифікацію фізико-хімічних процесів, які мають місце на дорогах, спричиняючи запиленість повітря з метою оцінки їх внеску в загальне забруднення повітря. В таблиці 1.2 наведений склад шин. [2]

Таблиця 2. Склад шин

Матеріал	Кількість, %
Натуральний каучук	14
Синтетичний каучук	27
Високо-вуглецевий сталевий дріт	14
Сажа	28
Домішки(тканини, наповнювачі, та інші матеріали)	16

Дорожній пил складається в основному з мінералів ґрунтового походження з кварцом у складі та глинистими мінералами, такими як альбіт, мікроклін, хлорит та мусковіт, що походять із навколишніх ґрунтів. В таблиці 1.3 зазначений відсотковий склад дорожнього пилу в залежності від якості матеріалів.[3]

Таблиця 3. Відсотковий склад дорожнього пилу

Матеріал	Відсотковий склад
Мінерали ґрунтового походження:	60%
Метали із навколишніх ґрунтів:	Частина з 60%
- Кварц	40-50%
- Глинисті мінерали (альбіт, мікроклін, хлорит, мусковіт)	10-20%
- Fe, Al, Mn	10-15%
Потенційно токсичні забруднювачі:	30%
- Знос гальм і шин	
- Викиди згоряння	
- Попіл від асфальту	
Важкі метали від транспортних засобів:	5-10%
- Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd	
Органічна речовина:	2%

Під час руху автомобіля шини зношуються через тертя з асфальтом, що спричиняє відшаровування мікрочастинок гуми. Особливо інтенсивно це відбувається під час гальмування, прискорення та поворотів. Відірвані частинки гуми підіймаються в повітря або осідають на дорозі, звідки їх знову піднімають автомобілі чи вітер. Дорожній пил також містить частинки покриття, які відокремлюються під дією тертя шин.

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В ПОВІТРІ

Значну частину промислових викидів, що забруднюють атмосферне повітря, складає пил. Методи вимірювання можна розділити на дві досить великі підгрупи: зі зважуванням пилу та без зважування. Методи без зважування можна поділити на оптичний та електростатичний. В таблиці 4 наведено порівняння методів [4].

Таблиця 4 Порівняння методів

<i>Метод</i>	<i>Процес</i>	<i>Переваги</i>	<i>Недоліки</i>
Гравіметричний	Фільтрація, зважування	Висока точність, незалежність від складу пилу.	Тривалий процес, потреба в спеціальному обладнанні.
Оптичний	Розсіювання світла	Швидкий результат, автоматизація.	Залежність від складу та розміру частинок.
Електростатичний	Вимірювання електричного заряду	Простота методу, ефективність для певних типів пилу.	Похибки, залежність від складу пилу.

«Оптичні методи засновані на визначенні запиленості повітря по величині світлового потоку, поглинутого або розсіяного пиловим аерозолем. При цьому вимірюють або інтегральний світловий потік від відносно великих об'ємів аерозолу, або від окремих часток пилу. Використовують також прилади, в яких визначають зміну оптичної щільності фільтру, через який протягують пиловий аерозоль.»[5]

Гравіметричний метод - це метод вимірювання пилу, що ґрунтується на зважуванні пилу, що осідає на фільтрі під час проходження повітря через нього. Принцип роботи полягає в наступному: повітря зразка пропускається через фільтр, де пил осідає. Після забору зразка фільтр з пилом зважується на аналітичних вагах, а зважена маса пилу обчислюється за різницею маси фільтра перед та після забору зразка.[6]

ВИСНОВКИ

Аналіз показав, що запиленість повітря на дорогах є значним екологічним викликом через високий рівень дрібнодисперсного пилу (PM2.5, PM10), який негативно впливає на здоров'я людей та екосистеми. Основними джерелами утворення пилу є транспорт, абразивне зношування дорожнього покриття, будівельні роботи та промислові викиди. Аналіз характеристик і джерел пилу дозволив уточнити його склад та механізми розповсюдження. Кожен із методів має переваги та недоліки, що визначають їхню придатність у різних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1]Oizom Ambient Air Quality Monitoring Company: [Веб-сайт]. India, 2024. URL: <https://oizom.com/what-are-dust-particles/> (дата звернення: 24.11.2024).
- [2]Abdullah Z. T. Expansion of a Mechano-Chemical Plant for Remanufacturing Waste Tires into Rubber Sheet and Profitable Wire Steel By-products: A

- Quantitative Sustainability Assessment. Applications in Engineering Science. 2023. С. 100164. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apples.2023.100164> (дата звернення: 24.11.2024).
- [3] Source characterisation of road dust based on chemical and mineralogical composition / С. Gunawardana та ін. Chemosphere. 2012. Т. 87, № 2. С. 163–170. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.012> (дата звернення: 24.11.2024).
- [4] Ауров В.В. Методи вимірювань параметрів навколишнього середовища: Підручник. – Одеса: ТЭС, 2002. – 284 с.
- [5] Голінько В. І., Шибка М. В. Вивчення методів і засобів контролю запиленості повітря: з дисципліни «Основи охорони праці» для студентів усіх спеціальностей. Дніпропетровськ, 2013. С. 9 – 10.
- [6]. Машталер О. В. Моніторинг пилу та аерозолів в повітрі за допомогою оптичного пиломіра : Кваліфікаційна (магістерська) робота. Вінниця, 2023. 69 с. URL: <https://jqmth.donnu.edu.ua/article/view/15144/15054>.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н. М.

УДК 621.307.13

Ю.В. Носова, студ. гр. ПІ-32мп, П.Д. Семенухін, студ. гр. ПІ-31
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛАСТИЧНОГО КОНТАКТУ У ГАЗОРОЗРЯДНОМУ ПРИБОРІ

Анотація. В даній роботі наведені результати досліджень з розробки засобу контролю поверхневих дефектів в кремнієвих фотоелектричних сонячних елементах при збудженні коронного розряду. Особливістю запропонованого газорозрядного пристрою є застосування прозорого електроду на тонких плівках оксидів індію та олова (ІТО). Прозорий електрод нанесений на скляну пластину, що дозволяє виконувати контроль поверхні в коронному розряді у фронтальній площині. Розряд при наявності скляної пластини називають також бар'єрним розрядом. Бар'єр тут діелектричний. Контакт на склі утворюють пайкою індієм із клейовим флюсом. Альтернативою до паяного контакту є еластичний контакт на основі гуми із анізотропною провідністю. Еластичний контакт широко застосовують у дисплеях на рідких кристалах (LCD), проте в діапазоні низької напруги (до 50 В). При запобіганні утворення іскрового розряду, як доведено експериментально, можлива експлуатація еластичного контакту в діапазоні напруги при генерації коронного розряду (2-3 кВ).

Ключові слова: коронний розряд, бар'єрний розряд, еластичний контакт, прозорий електрод

ВСТУП

Коронний розряд виникає при неоднорідності поверхні провідника або напівпровідника, яка призводить до збільшення напруженості електричного поля до 10 кВ/см.

Неоднорідність поверхні виникає у таких випадках:

- поверхня має масив шорсткостей типу вістрь;
- матеріал має приховані дефекти (дислокації).

Використання еластичного контакту у газорозрядному пристрої дозволяє спростити конструкцію пристрою, а також підвищити надійність з'єднання між платою і склом із прозорим електродом.

ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

Математичне моделювання електричних контактів на основі еластомірів розглянуто в [1]. Теоретичною основою для моделювання тут є рівняння механіки твердого тіла.

Практичне використання еластичного контакту на склі, на який нанесено тонку плівку оксидів олова та індію (ІТО) в якості прозорого електроду, в дослідженнях акусто-електроніки та акусто-оптики можна знайти в [2]. Метою цих досліджень є вдосконалення методів і засобів експериментального матеріалознавства, однією із задач якого є модифікація поверхні за допомогою ультразвукового індентора.

У виготовленні сонячних перспективних елементів на основі наноматеріалів використовують прозорий електрод на основі ІТО. Контакти тут забезпечують еластичні провідні елементи. Технологія синтезу наноматеріалу передбачає застосування коронного розряду [3].

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є обґрунтування конструкції газорозрядного пристрою на основі еластичного контакту між склом із нанесеним на ньому прозорим електродом і платою управління, яка виготовлена на основі технології

друкованого монтажу.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження були обрані еластичні контакти із гуми, яка має анізотропну провідність (Рис. 1).



Рис. 1 Еластичний контакт компанії Fujitsu: 1 – металевий провідний шар; 2 – шар ізолятора

Еластичний контакт компанії Fujitsu (Японія) побудований за принципом почергового розташування провідних металевих шарів і шарів гумового ізолятора. Конструкція контакту має назву «зебра».

Для збудження коронного розряду необхідно передати високовольтний сигнал від імпульсного трансформатора до скляного прозорого електроду. Встановлено, що паяний контакт має обмеження по міцності. Тому запропоновано створити механічний контакт із притисканням гумових елементів одночасно до скла і плати друкованого монтажу.

На першому етапі досліджень було використано механізм притискання на основі струбцин із додатковою ізоляцією їх робочої зони (Рис. 2).



Рис. 2 Експеримент із утворення гнучкого контактного з'єднання між прозорим електродом на склі і платою

Величина опору в зоні гнучкого контакту була визначена експериментально на стенді (Рис. 2) і не перевищила 6 Ом при силі притискання 25 ± 3 Н. Контакти на платі були виготовлені у вигляді ламелі - сукупності періодичних відрізків шириною 1,25 мм і довжиною 12 мм та розривами між ними шириною 1,25 мм. Усі відрізки з'єднані між собою пайкою. Поверхня ламелі вкрита золотом.

Тонкий шар золота захищає контакт від окислення.

Випробування контактів на стійкість довели, що контактна група має стабільну величину опору протягом чотирьох годин поспіль.

Напруга, яку подавали на гнучкий контакт, була в межах від 5 до 1200 В. Сигнал мав постійну величину.

Зазначимо, що прозорий електрод випробували не тільки в статичному, але і в динамічному режимі експлуатації. Амплітуда сигналу, який подавали на прозорий електрод була в діапазоні від 900 до 2700 В. Контакт при цьому був паяний. Для запобігання виникнення іскрового розряду та електричного пробоя, в схему додали обмежуючий опір. Наявність опору призводить до обмеження імпульсного струму величиною 5 мА, що є достатнім для генерації коронного розряду, проте забезпечує безпечну для дослідника величину струму при виникненні короткого замикання розрядного кола.

В наступних дослідженнях заплановано випробувати прозорий електрод у складі газорозрядного пристрою при застосуванні гнучкого контакту в повному діапазоні імпульсної напруги.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень доведена дієвість конструкції газорозрядного пристрою на основі скляного прозорого електроду, який має гальванічне з'єднання із платою друкованого монтажу за допомогою еластичного контакту. Випробування довели, що величина опору складає кілька Ом, а сила притискання має бути кілька десятків Ньютонів.

Перенесення технології гнучкого контакту від низьковольтних пристроїв, якими є рідкокристалічні індикатори (LCD), до високовольтних схем газорозрядних пристроїв потребує серії додаткових досліджень з метою точного визначення межі використання еластичних контактів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] T. Chen, R. Hu, M. Sofonea, “Analysis and control of an electro-elastic contact problem”, *Mathematics and Mechanics of Solids*, (2021), 27 (5), pp.813-827. DOI: 10.1177/10812865211044181
- [2] S. Wu, P. Chin, H. Liu “Measurement of Elastic Properties of Brittle Materials by Ultrasonic and Indentation Methods”, *Applied Sciences*, (2019), 9, 16 p. DOI: 10.3390/app9102067
- [3] D. van Dam et al., “High-E sciency Nanowire Solar Cells with Omnidirectionally Enhanced Absorption Due to Self-Aligned Indium-Tin-Oxide Mie Scatterers”, *ACS Nano* 10.12 (2016), pp. 11414-11419. DOI: 10.1021/acsnano.6b06874

Наук. керівник –к.т.н., доцент каф. ІВТ Божко К.М.

УДК 621.383.51

К.М. Нощенко, студ. гр. ПІ-22
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИМІРЮВАННЯ ЛЮКС-ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕНДОСИНСЬКОГО ДВИГУНА У РОЗШИРЕНОМУ ДІАПАЗОНІ ОСВІТЛЕНОСТІ

Анотація. Проведення вимірювання люкс-частотної характеристики мендосинського двигуна – це важливий етап в подальших дослідженнях ефективності його роботи за різних рівнів освітленості. У даній роботі представлені результати проведених експериментів з метою розширення діапазону освітленості та з демонстрацією роботи мендосинського двигуна в лабораторних умовах. В якості джерела світла була використана галоген-вольфрамова лампа розжарення потужністю 1 квт. Отримані результати було використано для об'єктивного аналізу характеристик двигуна за різних умов освітленості. Такі дослідження можуть привести до практичного використання мендосинського двигуна в галузі енергетики відновлювальних джерел, наприклад в якості вимірювача сонячної освітленості.

Ключові слова: мендосинський двигун, люкс-частотна характеристика, сонячна панель, фотодіод

ВСТУП ТА ОГЛЯД ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Мендосинський двигун на фотоелектричних сонячних панелях наразі не має практичного використання окрім сфери іграшкового бізнесу. Є кілька спроб його застосування в якості вимірювача освітленості, для чого потрібна його люкс-частотна характеристика. Сам двигун обертається на магнітному (левітаційному) підвісі. Контакти обмоток відсутні, а імпульсний фото-струм в обмотках перемикає по черзі світловий потік. Обмотки розташовані на роторі під кожною із панелей. Панелі у кількості від чотирьох до дванадцяти утворюють конструкцію у вигляді прямокутного багатогранника і обертаються на роторі разом із обмотками. Момент руху виникає при взаємодії магнітного потоку кожної із обмоток при проходженні її панелі під джерелом світла та магнітним потоком статора. Статор – це постійний магніт, який знаходиться під конструкцією ротора. Освітленість вимірюють цифровим люксметром, а частоту обертів валу двигуна – фотодатчиком та осцилографом. Для розширення діапазону люкс-частотної характеристики використано більш потужне джерело освітлення на галоген-вольфрамовій лампі розжарення. В якості датчика використано фотодіодний приймач із аналоговим виходом. Сигнал від датчика подають на вхід цифрового осцилографу. На основі отриманих осцилограм розраховують частоту обертів двигуна. Безпосередні вимірювання частоти цифровим тахометром виявилися менш ефективними внаслідок засвічування датчика тахометра і необхідністю проводити вимірювання одразу після вимикання світла.

Запропонований наразі вимірювач освітленості на основі мендосинського двигуна [1,2] працює за принципом переривання світлового сигналу оптопарою диском із прорізами, який знаходиться на валу двигуна. Обчислення частоти імпульсів від модулятора відбувається в модулі ARDUINO, який за допомогою інтерфейсу USB має зв'язок із персональним комп'ютером. Прилад діє у вузькому діапазоні освітленості: від 500 до 2000 люкс.

Теоретичні дослідження принципу дії та характеристик мендосинського двигуна можна знайти в [3].

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є розробка лабораторного стенду для отримання люкс-частотної характеристики мендосинського двигуна на основі застосування фотодіодного датчика та осцилографу в якості тахометра. Розширення діапазону освітленості при вимірюванні дозволяє виявити лінійну частину люкс-частотної характеристики двигуна, а сам двигун використати в якості вимірювача сонячної освітленості.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження мендосинського двигуна було використано лабораторний стенд у складі:

- мендосинського двигуна із чотирма сонячними панелями на валу;
- галоген-вольфрамового прожектору потужністю 1 кВт;
- фотодатчика полум'я із аналоговим виходом;
- джерела живлення +3 В;
- цифрового осцилографу Siglent (Рис. 1).

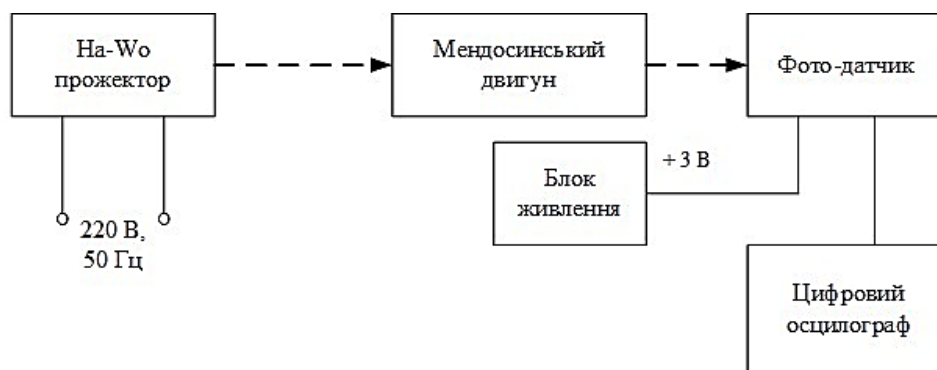


Рис. 1 Структурна схема лабораторного стенду для вимірювання люкс-частотної характеристики мендосинського двигуна

Для вимірювання освітленості було використано цифровий люксметр моделі MASTECH MS6612, який має систематичну похибку $\pm 3\%$.

Процес вимірювання частоти обертів відображено на Рис. 2.



Рис. 2 Осцилографічне вимірювання частоти обертів мендосинського двигуна

Для зміни освітленості поступово збільшували відстань між двигуном та джерелом світла. Залежність освітленості від відстані є обернено квадратичною:

$$L = L_0 \frac{X_0^2}{X^2}, \quad (1)$$

де L – освітленість фотоелектричної панелі на відстані X від джерела;
 L_0 – освітленість на початковій відстані X_0 .

На Рис.3 наведено осцилограму сигналу на виході фотодатчика.

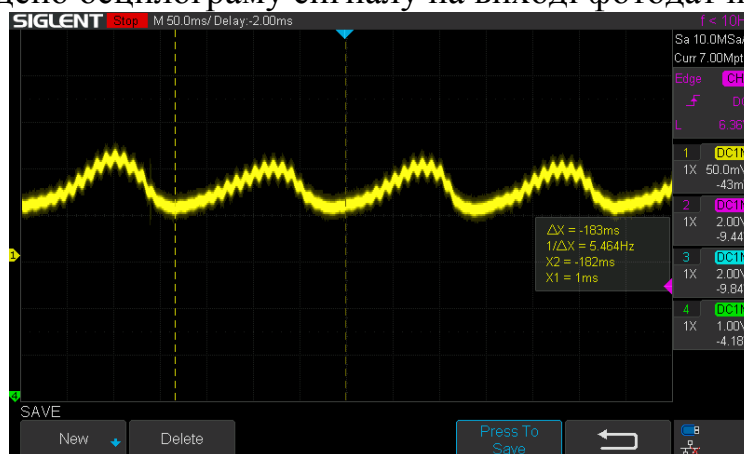


Рис.3 Осцилографічне вимірювання частоти обертів мендосинського двигуна: частота сигналу 5,464 Гц; частота обертів валу 1,366 Гц або 82 об/хв.

При осцилографічному вимірюванні частоти обертів валу ν (у об/хв.) розрахунок необхідно виконувати за формулою:

$$\nu = 60 \left(\frac{1}{\Delta X} \right) / N, \quad (2)$$

де $\left(\frac{1}{\Delta X} \right)$ - частота модуляції на екрані осцилографу у герцах (Рис. 3);

N – кількість сонячних панелей у складі ротору двигуна ($N = 4$).

У таблиці 1 наведено результати вимірювань.

Таблиця 1 Залежність швидкості обертання валу двигуна від освітленості

Швидкість обертання, рад/хв	Швидкість обертання ν , об/хв	Освітленість L , лк	Температура двигуна, °С
1170	186	38 000	31,0
1075	171	26 000	27,6
824	131,2	16 900	22,7
264	42	8 180	18,1

Зауважимо, що сонячна енергетична освітленість (радіометричні вимірювання) відповідно до стандарту AM1 (Сонце опівдні на широті екватору) дорівнює 1000 Вт/кв.м. При виконанні фотометричних вимірювань еквівалентною величиною є освітленість у 80 тисяч люкс. Таким чином, освітленість 38 000 лк відповідає приблизно половині сонячної освітленості на екваторі або 60% для умов Києва (опівдні 20-26 червня).

За результатами вимірювань була побудована люкс-частотна характеристика мендосинського двигуна (Рис. 4).

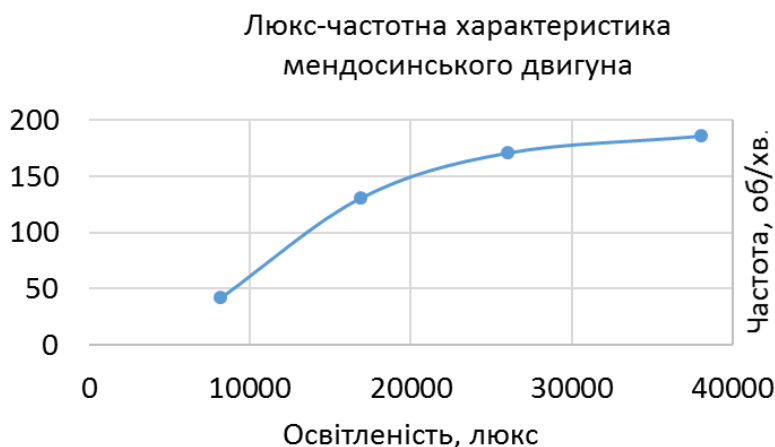


Рис.4 Люкс-частотна характеристика мендосинського двигуна

ВИСНОВКИ

Результатом роботи є експериментально отримана люкс-частотна характеристика мендосинського двигуна в розширеному діапазоні освітленості.

В діапазоні освітленості від 10 000 лк до 20 000 лк люкс-частотна характеристика є лінійною. Коефіцієнт нелінійності тут не перевищує 1%. При систематичній похибці вимірювання освітленості в 3% та похибці осцилографа в 2% нелінійністю залежності можна нехтувати. Поява нелінійної ланки залежності (Рис. 4) обумовлена збільшенням механічного опору повітря при обертанні ротору. Причиною значного опору є доволі велика парусність фотоелектричних сонячних панелей. Сила опору тут нелінійно залежить від швидкості повітряного потоку, що набігає на ротор при обертанні.

Отримані результати роботи можуть бути корисними для оптимізації конструкції двигуна й підвищення його ефективності за різних умов освітлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Симонюк В.П. До автоматизації освітленості виробничих приміщень за допомогою комбінованого освітлення /В.П. Симонюк, Ю.С. Лапченко, В.Ю. Денисюк, О.М. Решетило //Перспективні технології та прилади, вип. 19, 2021. – С. 122-127. DOI: 10.36910/6775-5352-2021-19-20
- [2]Спосіб виготовлення пристрою для вимірювання освітленості об'єктів: пат. 144782 Україна, заявники та патентовласники В.О. Денисюк, В.П. Симонюк та Ю.С. Лапченко; № u144782; заявл. 10.05.2020; опубл. 27.10.2020.
- [3]Loic Q. Photovoltaic Motors Review, Comparison and Switched Reluctance Motor Prototype /Q. Loic, B. Multon, L. Vido //2015 Tenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). – 2015. – 8 p. URL <https://www.researchgate.net/publication/2753315880>

Наук. керівник –к.т.н., доцент каф. ІВТ Божко К.М.

УДК 621.317

*А.І. Ніколаєв, М.В. Петров, студенти гр. ПІ-32мп, В.Г. Желізняк,
студентка гр. ПІ-331мп, д.т.н., проф. Барилко С.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ЩІЛЬНОСТІ ТОНКИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. Ультразвуковий метод вимірювання поверхневої щільності різних тонких матеріалів (товщина до 1 мм) є одним із найбільш ефективних методів для сучасних інформаційно-вимірювальних систем, що можуть застосовуватися для контролю якості тонких полімерних плівок та паперу на виробництві. Даний метод базується на аналізі зміни амплітуди при поширенні ультразвукових хвиль через досліджуваний матеріал. Цей метод точно дозволяє визначити поверхневу щільність в процесі виробництва без руйнування цілісності матеріалу. Завдяки використанню ультразвукових хвиль, можна проводити вимірювання у кількох точках виробу з доволі високою точністю. Основними перевагами ультразвукового методу є висока чутливість до зміни щільності матеріалу, можливість контролювати великі площі без впливу на цілісність виробу та швидке отримання результатів у режимі реального часу. Це робить даний метод перспективним для застосування у процесах виробництва різних матеріалів.

Ключові слова: комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система, ультразвуковий безконтактний метод, ультразвуковий перетворювач, поверхнева щільність, контрольований матеріал плівки, папір.

ВСТУП

У сучасному світі на виробництві різних плівкових матеріалів та на виробництві паперу з різною товщиною, необхідно виконувати постійний вимірювальний контроль [1-3] поверхневої щільності даних матеріалів, що впливає на регулювання якісних характеристик готової продукції. За допомогою безконтактних перетворювачів можна виконувати процес вимірювання не здійснюючи механічний контакт з контрольованим матеріалом. При цьому оброблювати отриману інформацію з перетворювачів. Дані завдання є ключовими для забезпечення високої якості та надійності готової продукції. Одним з ефективних та універсальних методів отримання точних результатів вимірювання поверхневої щільності контрольованого матеріалу є ультразвуковий. Принцип процесу вимірювання за вказаним безконтактним методом відбувається наступним чином, ультразвуковий випромінювач створює ультразвукові хвилі, які проходять через повітря та досліджуваний матеріал і далі потрапляють на приймальний перетворювач, після чого сигнал надходить на блок обробки інформації, а вже потім аналізується зміна амплітуди хвилі. Даний метод вимірювання дає можливість отримувати точні результати вимірювання поверхневої щільності матеріалу. При цьому на ультразвуковий сигнал не впливає контактний тиск датчика на контрольований матеріал, підвищений рівень запиленості та зашумленості у виробничих приміщеннях, що також є перевагою даного методу вимірювання.

РЕАЛІЗАЦІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ

В процесі досліджень, була показана можливість застосування безконтактного ультразвукового методу для вимірювання поверхневої щільності m_s різних матеріалів. Отримана залежність співвідношення амплітуд ультразвукових хвиль від технологічного параметру. Формула для співвідношення амплітуд ультразвукових хвиль, що представляє собою модуль комплексного коефіцієнта проходження $|W|$, буде використовуватися для

розрахунку поверхневої щільності m_s матеріалів. В розробленій комп'ютеризованій інформаційно-вимірювальній системі (КІВС) (рис.1) застосовуватиметься залежність, за якою буде визначатися технологічний параметр – поверхнева щільність m_s матеріалу, яку можна подати так:

$$m_s = \frac{Z_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{|W|^2} - 1}}{\pi \cdot f}. \quad (1)$$

При цьому приймаємо, що $\frac{Z_1}{f} = \text{const}$ (співвідношення акустичного опору Z_1 повітря та частоти f ультразвукових хвиль), оскільки акустичний опір повітря Z_1 буде мало змінюватися за сталих температури, тиску та вологості навколишнього середовища у процесі вимірювання різних матеріалів, як і частота f хвиль, які випромінюються.

У процесі виконання досліджень було розроблено спеціальну КІВС на основі ультразвукового безконтактного метода. У даній системі наведено наступні блоки: генератори ультразвукових хвиль 1, первинні перетворювачі 2, 3 на опорі, блок детектування пікового значення амплітуди хвиль із підсиленням сигналу 4, блок обробки вимірювальної інформації 5, цифровий осцилограф 6 та персональний комп'ютер ПК 7, контрольована плівка 8.



Рисунок 1 – Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система

Для вимірювання поверхневої щільності m_s бралися різні матеріали полімерної плівки та паперу, які часто використовують у повсякденному житті. Серед досліджуваних матеріалів: папір для друку; папір для самописця; плівка для пакування (чорна); та плівка харчова з малою поверхневою щільністю m_s .

Під час вимірювань для кожного з матеріалів було отримано наступні знімки осцилограм ультразвукових хвиль на цифровому осцилографі 6, які пройшли крізь контрольоване середовище та повітря. Отримані осцилограми були використані для налаштування експериментальної КІВС та для розрахунку поверхневої щільності m_s матеріалу при порівнянні з руйнівним методом

визначення цього технологічного параметру. На рис.2 – рис.5 показані проміжні результати досліджень.

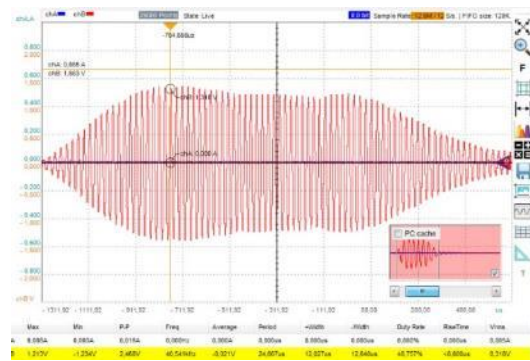


Рисунок 2 – Проходження імпульсного ультразвукового сигналу з частотою 40 кГц через повітряне середовище без контрольованого зразку матеріалу площею 10 см² (сигнал на приймаючому перетворювачі)



Рисунок 3 – Проходження імпульсного ультразвукового сигналу з частотою 40 кГц через папір для друку, обрахована поверхнева щільність паперу за амплітудою хвиль $m_s = 86 \text{ г/м}^2$, а також визначення параметру руйнівним методом за допомогою ваг

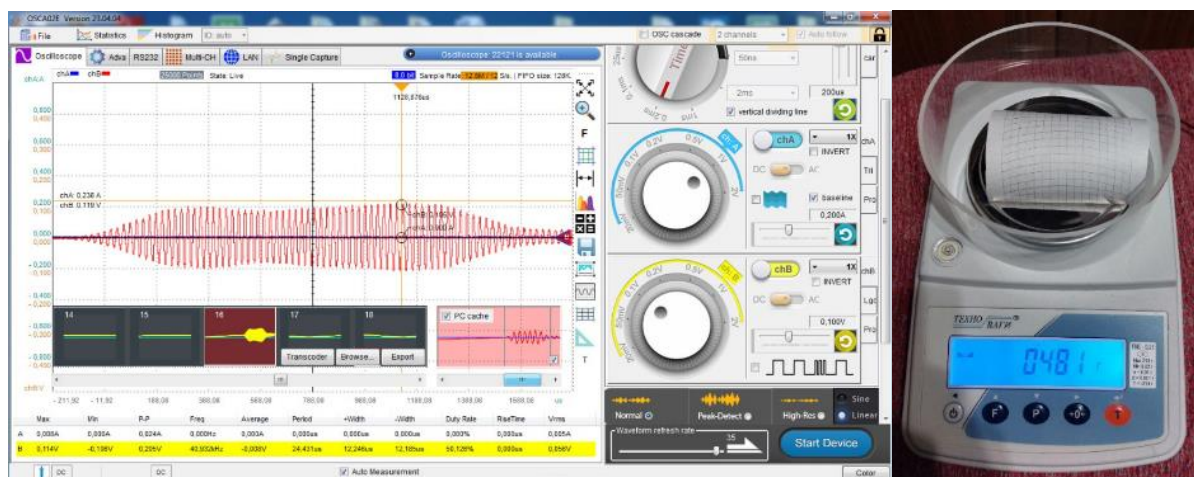


Рисунок 4 – Проходження імпульсного ультразвукового сигналу з частотою 40 кГц через папір для самописця, обрахована поверхнева щільність паперу за амплітудою хвиль $m_s = 42 \text{ г/м}^2$, а також визначення параметру руйнівним методом за допомогою ваг

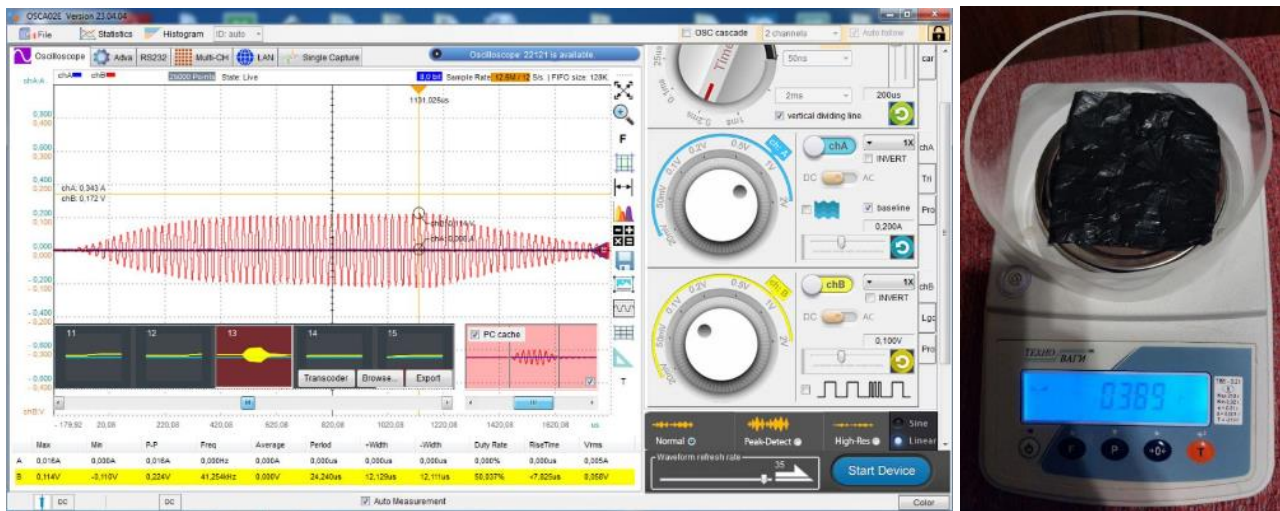


Рисунок 5 – Проходження імпульсного ультразвукового сигналу з частотою 40 кГц через плівку для пакування, обрахована поверхнева щільність паперу за амплітудою хвиль $m_s = 39 \text{ г/м}^2$, а також визначення параметру руйнівним методом за допомогою ваг

Провівши попередні дослідження були отримані осцилограми та розроблена КІВС, які показали можливість застосування безконтактного ультразвукового методу вимірювання поверхневої щільності m_s різних матеріалів для оперативного контролю параметру в процесі виробництва.

ВИСНОВКИ

Результати даного дослідження показали, що за допомогою такого перспективного методу як ультразвуковий, стає можливим вимірювати і оперативно контролювати поверхневу щільність матеріалу не порушуючи його цілісність в процесі виробництва. При виготовленні багатьох матеріалів товщиною до 1 мм, цей параметр є одним з найважливіших, від якого залежить якість та конкурентоспроможність готової продукції. Ультразвуковий метод вимірювання поверхневої щільності може бути використаний у різних галузях виробництва для матеріалів з малою товщиною без застосування еталонного налаштування вимірювальної системи під різний контрольований матеріал. Це дозволяє безконтактний ультразвуковий метод широко застосовувати в промисловості для оперативного моніторингу вимірювального параметру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Здоренко В.Г. Проектування комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем. Навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Г. Здоренко, Н. М. Защепкіна, С. В. Барилко, Г. І. Войченко, С. М. Лісовець, О. М. Маркіна. – 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]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.

УДК 621.317

*А.І. Ніколаєв, М.В. Петров, О.В. Майданник, студенти гр. ПІ-32мп,
В.Г. Желізняк, студентка гр. ПІ-331мп, д.т.н., проф. Барилко С.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ПОХИБКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З КОМПЕНСУЮЧОЮ НАПРУГОЮ

Анотація. Динамічна похибка аналого-цифрового перетворювача може впливати на результат вимірювання в цифрових приладах та системах, які орієнтовані на роботу з величиною напруги, що повільно змінюється у часі. При роботі таких перетворювачів з напругою, яка надходить з вторинного перетворювача у вимірювальній схемі, може виникати ситуація, коли рівень напруги може відхилятися з часом, що менший за час перетворення аналогової величини в цифровий код, від свого усталеного значення. В такому випадку може виникати динамічна похибка, що може вплинути на результат вимірювання. З метою визначення оптимальних параметрів налаштування аналого-цифрового перетворювача з компенсуючою напругою було проведено дослідження з побудовою моделі перетворювача. Визначались динамічні похибки перетворювача при різних його налаштуваннях.

Ключові слова: аналого-цифровий перетворювач, компенсуюча напруга, інформаційно-вимірювальна система, динамічна похибка.

ВСТУП

У сучасному світі широко застосовуються вимірювальні прилади та системи із застосуванням аналого-цифрових перетворювачів із компенсуючою напругою [1, 2]. Такі засоби в інформаційно-вимірювальній техніці дозволяють перетворювати аналогову величину напруги з вторинного перетворювача у вимірювальній схемі в цифровий код і передавати його для подальшої обробки на мікропроцесорні модулі. Відповідні схеми спрощують апаратні рішення вимірювальних каналів в різних системах та приладах. Тому дослідження зміни рівнів динамічної похибки таких перетворювачів є актуальною задачею у багатьох напрямках галузі, що стосується створення різної вимірювальної техніки [3].

МОДЕЛЮВАННЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Аналого-цифровий перетворювач із компенсуючою напругою можна реалізувати у вигляді моделі у відповідному програмному середовищі для подальшого дослідження його роботи при різних параметрах налаштування схеми. До самої електричної схеми спрощеної моделі перетворювача можуть входити наступні складові блоки: *цифро-аналоговий перетворювач (DAC0808)* – пристрій для перетворення цифрового коду в аналоговий сигнал за величиною, пропорційною значенню коду, він може бути складовою частиною в структурах аналого-цифрових пристроїв і перетворювачів; *генератор тактових імпульсів (ICL8038)* – електронний генератор, призначений для генерації електричних тактових імпульсів заданої частоти для синхронізації сигналів та процесів в цифрових пристроях; *лічильники імпульсів (74393, 74160)* – пристрої для підрахунку кількості сигналів, які надходять на їх вхід, результат підрахунку формується лічильниками у заданому коді; *операційний підсилювач (AD706)* – підсилювач з диференціальним входом, що має високий коефіцієнт підсилення, який застосовується в схемах, де необхідно підсилити сигнали, в яких є постійна складова; *компаратор (TLC354)* – пристрій порівняння, що

використовується в системах контролю та автоматичного керування, який виконаний на базі операційного підсилювача (ОП), що порівнює вимірювану напругу U_x із опорною компенсуючою напругою U_k ; *реєстри (74194)* – логічні пристрої, які виконують функцію приймання, запам'ятовування і передавання інформації; *інвертори логічного рівня (7405, 74S04)* – логічні елементи, що виконують операцію логічного заперечення – інверсії, елементи видають на виході напругу, що дорівнює протилежному логічному рівню напруги на їх вході.

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПОХИБОК ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ПРИКЛАДУ СИМУЛЯЦІЇ РОБОТИ ЙОГО МОДЕЛІ

При роботі аналого-цифрового перетворювача із компенсуючою напругою в режимі з постійним часом перетворення $T_n = const$ $T_{\Pi} = const$ отримане значення коду напруги відносять до моментів часу, що відповідатимуть початку t_1 чи кінцю t_2 розгортки, які можна визначити за порядковим номером даного результату порівняння та вимірювання напруг [1, 2]. Проте момент компенсації t_k не збігається з цими моментами часу і вимірювана величина може змінитись за час між початком розгортки компенсуючої напруги та самим моментом компенсації або між моментом компенсації та кінцем розгортки опорної напруги (рис. 1).

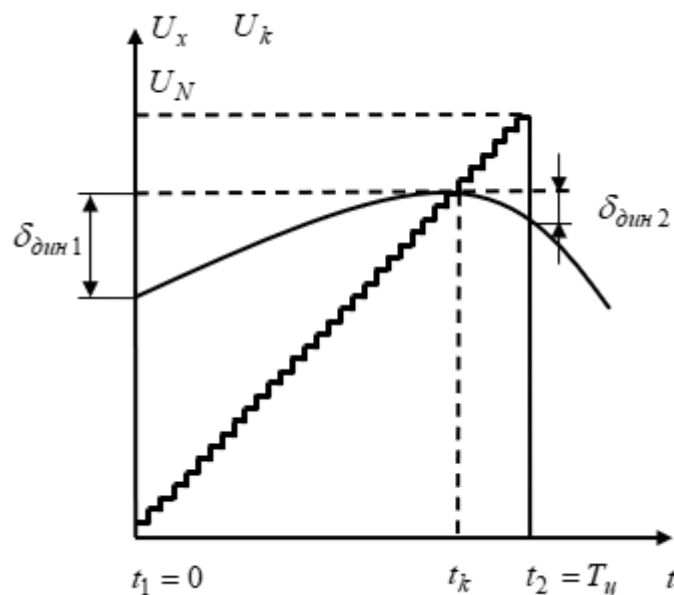


Рисунок 1 – Пояснення як виникає динамічна похибка при порівнянні двох напруг в перетворювачі

У наведеному вище випадку буде виникати динамічна похибка, значення якої можна показати так:

$$\delta_{дин1}(V_x, U_x) = V_x(t_k - t_1) = \frac{dU_x}{dt} N_k \Delta t_{cm} = \frac{dU_x}{dt} \frac{U_x}{\Delta U_k} \Delta t_{cm}, \quad (1)$$

$$\delta_{дин2}(V_x, U_x) = V_x(T_u - t_k) = \frac{dU_x}{dt} \Delta t_{cm} \left(N_N - \frac{U_x}{\Delta U_k} \right), \quad (2)$$

де V_x – зміна вимірюваної величини у часі відносно точки зрівноваження двох напруг.

Далі проведемо дослідження симуляції роботи моделі перетворювача та визначимо величини динамічних похибок, що виникають на початку та в кінці циклу перетворення (рис.2).

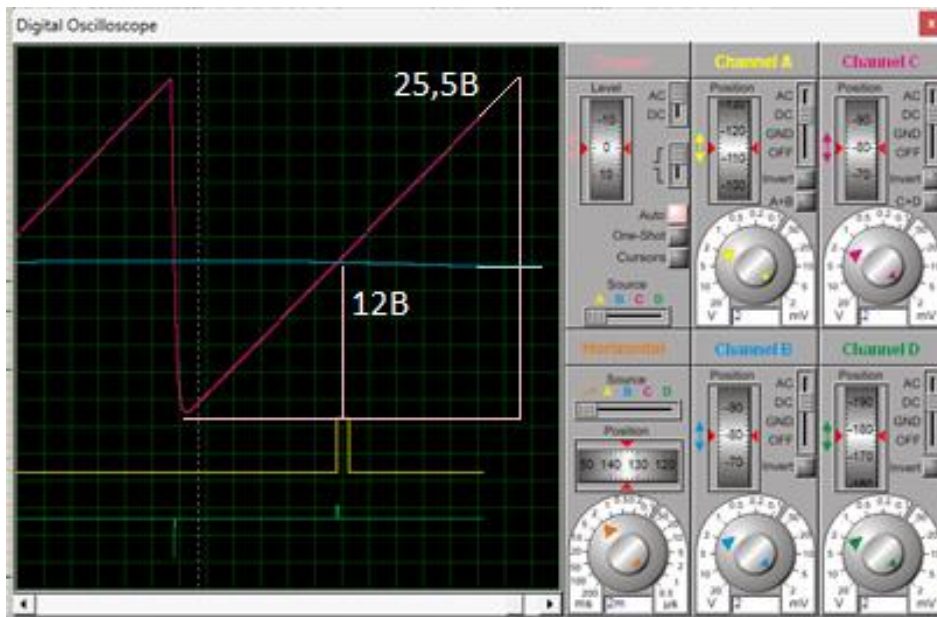


Рисунок 2 – Вимірювання $U_x = 12В$ при напрузі $U_N = 25,5В$, при $N_N = 2550$ та при частоті тактового генератора $f = 100000$ Гц

Розрахуємо динамічні похибки для випадку показаному на рис. 2 для вимірювання $U_x = 12В$ при напрузі $U_N = 25,5В$, при $N_N = 2550$ та при частоті тактового генератора $f = 100000$ Гц наступним чином:

$$\begin{aligned} \delta_{дин1}(V_x, U_x) &= V_x(t_k - t_1) = \frac{dU_x}{dt} N_k \Delta t_{cm} = \frac{dU_x}{dt} * \frac{U_x}{\Delta U_k} * \Delta t_{cm} \approx \\ &\approx \frac{\Delta U_x}{\Delta t_{cm} N_k} * \frac{U_x}{\Delta U_k} * \Delta t_{cm} = \frac{\Delta U_x}{(t_k - t_1)} * N_k * \Delta t_{cm} = \\ &= \frac{\Delta U_x}{t_{зрівн}} * N_k * \Delta t_{cm}; \end{aligned}$$

$$\delta_{дин1}(V_x, U_x) = \frac{0,1 \text{ под} * \frac{2В}{\text{под}}}{6 \text{ под} * \frac{0,002с}{\text{под}}} * 1200 * 0,00001с = 0,2В;$$

$$\delta_{\text{дин2}}(V_x, U_x) = V_x(T_c - t_k) = \frac{dU_x}{dt} \Delta t_{\text{cm}} \left(N_N - \frac{U_x}{\Delta U_k} \right) \approx \frac{\Delta U_x}{(T_c - t_k)} \Delta t_{\text{cm}} \left(N_N - \frac{U_x}{\Delta U_k} \right);$$

$$\delta_{\text{дин2}}(V_x, U_x) = \frac{0,1 \text{ под} * \frac{2\text{В}}{\text{под}}}{7 \text{ под} * \frac{0,002\text{с}}{\text{под}}} * 0,00001\text{с} \left(2550 - \frac{12\text{В}}{0,01\text{В}} \right) = 0,193\text{В};$$

$$\delta_{\text{сер дин}} = \frac{0,2\text{В} + 0,193\text{В}}{2} = 0,197\text{В}.$$

Провівши попередні дослідження були отримані результати визначення величини динамічних похибок перетворювача при різних його параметрах налаштування до вхідного рівня напруги з вторинного перетворювача інформаційно-вимірювальної системи.

ВИСНОВКИ

Результати даного дослідження дали можливість змоделювати роботу аналого-цифрового перетворювача з компенсуючою напругою та розрахувати величини динамічних похибок для створеної моделі перетворювача. Отримані значення динамічних похибок аналого-цифрового перетворювача дали можливість налаштувати його до вхідного рівня напруги з вторинного перетворювача інформаційно-вимірювальної системи, що розроблялася, за параметрами частоти тактового генератора та максимальної компенсуючої напруги, яка може створюватися в схемі за один цикл перетворення аналогової величини напруги в цифровий код.

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] Здоренко В.Г. Проектування комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем. Навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Г. Здоренко, Н. М. Защепкіна, С. В. Барилко, Г. І. Войченко, С. М. Лісовець, О. М. Маркіна. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 262 с.
- [3] 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.

УДК: 504.064

*В.В. Петров, аспірант, гр. ПІ-41ф, к.т.н, доц. Маркін М.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

КОНТРОЛЬ СКЛАДУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація. У статті розглянуто один із підходів до розробки інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) для контролю складу водних ресурсів та можливість інтеграції глибинного навчання для аналізу спектральних і фізико-хімічних параметрів, що допоможе автоматизувати моніторинг у реальному часі. В наш час глибинне навчання є ефективним методом для контролю складу водних ресурсів, що може значно прискорити обробку та аналіз даних, створення вибірки потрібної інформації та швидко реагувати на зміни. Забезпечення якості водних ресурсів є критично важливим для екології, здоров'я населення та сталого розвитку. Традиційні методи контролю складу води часто є дорогими, складними у виконанні та недостатньо оперативними. Впровадження сучасних інформаційно-вимірювальних систем із використанням методів глибинного навчання дозволяють автоматизувати процеси аналізу, контролювати точність вимірювання та підвищити швидкість моніторингу.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система (ІВС), контроль, дослідження, глибинне навчання, водні ресурси, аналіз даних, екологічний моніторинг.

ВСТУП

Контроль складу водних ресурсів є важливою складовою екологічного моніторингу не лише в Україні, а і у всьому світі. Зростання промислового забруднення, хімічного впливу та глобальних кліматичних змін, та війн, створює додаткові виклики для забезпечення чистоти води. Традиційні методи аналізу, засновані на лабораторних дослідженнях, мають цілий ряд обмежень, основними з яких можна виділити високу вартість, час виконання досліджень та об'єми ручної праці. Інформаційні технології, зокрема глибинного навчання, все частіше інтегруються у вимірювальні системи та відкривають нові можливості для підвищення точності вимірювань, швидкості та автоматизації процесів моніторингу.

МЕТА РОБОТИ

Метою є аналіз можливості застосування ІВС інформаційно-вимірювальної системи з використанням глибинного навчання, яка дозволить підвищити точність обробки експериментальних даних для вимірювання складу водних ресурсів на основі автоматизованого аналізу спектральних, фізико-хімічних даних та інших параметрів складу води із використанням методів глибинного навчання а також її швидкодію. Завданням дослідження стало:

1. Оглянути та проаналізувати існуючі підходи та погляди, що розвинулись в сучасній науці за напрямом моніторингу якості води.
2. Вивчити можливість розробки інформаційно-вимірювальної системи з урахуванням аналізу даних з різних джерел та датчиків.
3. Дослідити можливості створення та покращення моделі глибинного навчання для аналізу даних про склад води.
4. За допомогою глибинного навчання обробити різноманітні дані щоб мати можливість визначати закономірності, контролювати зміни результатів вимірювання і дозволити системі виявляти домішки у воді.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ

Сьогодні швидка обробка результатів являється основним показником для вибору методу проведення збору даних і їх аналізу. Стан водних ресурсів щодня погіршується і збір та аналіз даних проводиться або вручну або з мінімальною автоматизацією у вигляді різних комп'ютерних програм які знову ж таки потребують ручного управління людиною. В ЄС запроваджена водна директива для регулювання питань якості води [1]. Якісний склад водних ресурсів є критично важливим для здоров'я людини та екосистеми в цілому [2]. Ми пропонуємо розглянути ІВС, яка б полегшила та пришвидшила обробку даних. Особливістю системи ІВС є саме обробка результатів за допомогою глибинного навчання, яка може включати мультиспектральні датчики, хімічні аналізатори та IoT-модулі [3] для передачі даних та ін. Датчики можуть фіксувати показники [4], такі як рівень рН, концентрація нітратів, важких металів та органічних сполук. Їх використання дає можливість вибору різних алгоритмів. До алгоритмів глибинного навчання належать: згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN) з призначенням для аналізу спектральних характеристик води або зображень із сенсорів, рекурентні нейронні мережі (Recurrent Neural Networks, RNN) та їх модифікації (LSTM, GRU) - для аналізу часових рядів і трендів змін параметрів води, автокодері (Autoencoders) - для виявлення аномалій у складі води, об'єднання моделей (Ensemble Learning) - для підвищення точності та стійкості системи. Також алгоритмом глибинного навчання можуть бути глибинні нейронні мережі (Deep Neural Networks, DNN) з основним призначенням багатокласової класифікації складу води [5]. Вхідними даними виступають узагальнені фізико-хімічні параметри такі як: рН, електропровідність, мутність, вміст кисню тощо. До особливостей роботи DNN відносять включення декількох шарів нейронів, які дозволяють моделювати складні взаємозв'язки між параметрами. Модель може навчатися на великих наборах даних і визначати тип забруднень із високою точністю. Під такими перевагами розуміємо гнучкість у застосуванні для різноманітних завдань, пов'язаних із класифікацією та прогнозуванням [6]. За допомогою глибинного навчання ми можемо навчити, досягти збільшення точності і швидкості обробки результатів та отримати швидку обробку даних досліджень і їх результатів. Система, з певною архітектурою, класифікує склад води на основі вмісту різних компонентів і на виході видає результати у вигляді відомих та зрозумілих категорій, як от: "чиста вода", "вода, з незначними забрудненнями", "вода, з великою кількістю забруднень", "вода, небезпечна для використання". Для реалізації системи планується використання: Python - мова програмування, TensorFlow - відкрита програмна бібліотека для машинного навчання для моделювання, Flask - мікрофреймворк для веб-додатків, створений з використанням Python для створення API, а також MQTT - спрощений мережевий протокол, що працює на базі TCP/IP та використовується для обміну повідомленнями між пристроями за принципом видавець-підписник для передачі даних від сенсорів до сервера. До очікуваних результатів можна віднести:

1. Очікується висока ефективність моделі, тому що розробка глибинного навчання забезпечить точність обробки даних вимірювання класифікації більше 95% для забруднень, таких як важкі метали (свинець, кадмій), органічні забруднення (пестициди) та патогенні мікроорганізми.
2. Заплановані проведення тестів в умовах річкових водойм, в польових умовах, з очікуванням обробки одного зразка до кількох хвилин, що стало б значним покращенням порівняно з лабораторними методами.
3. Розроблений прототип інформаційно-вимірювальної системи, складається з сенсорної платформи, бази даних і алгоритмів обробки.
4. Розроблений інтерфейс програми повинен дозволити користувачам в реальному часі переглядати рівень забруднень, отримувати сповіщення про критичні відхилення та оперативно реагувати на них, формувати звіти та різнопланові вибірки для доповнення статистичних даних.

Попередні результати аналізу даної теми демонструють перспективність використання глибинного навчання в інформаційно-вимірювальних системах для аналізу якості води і допомагають ухвалювати важливі рішення на рівні держави і спільнот [8]. Поєднання сенсорних технологій та AI-моделей значно підвищує ефективність моніторингу та забезпечує можливість реалізації систем навіть раннього сповіщення та прогнозування про екологічні загрози [7]. Проте, для подальшого вдосконалення необхідно:

- Інтегрувати методи пояснювального AI для підвищення довіри до моделі.
- Розширити спектр сенсорів для аналізу різних типів забруднень.
- Провести тести для різних типів водних ресурсів (річки, озера, підземні води) в різних кліматичних та географічних умовах.
- Удосконалення моделей машинного навчання для виявлення складних забруднень води.

ВИСНОВКИ

Система є ефективним інструментом для автоматизованого моніторингу якості водних ресурсів. Моніторинг якості води відіграє ключову роль у захисті здоров'я населення та забезпеченні стабільності екосистем. Впровадження даної системи дозволить отримати актуальні дані в реальному часі для моніторингу стану водних ресурсів у екологічних службах, промисловості, сільському господарстві та водопостачанні. Розвиток та імплементація подібних рішень дозволяє значно підвищити оперативність і точність екологічного контролю, що сприятиме сталому розвитку, ефективному управлінню та збереженню водних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Платформа рішень для менеджерів природоохоронної діяльності. “Все про контроль якості води у водному об’єкті”, 2021. URL: <https://ecolog-ua.com/news/vse-pro-kontrol-yakosti-vody-u-vodnomu-obyekti> – 15.11.2024р.
- [2] Державна екологічна інспекція Південно-Західного округу. “Моніторинг якості води: Методи та інструменти для оцінки екологічного стану водних ресурсів”, 2024. URL: <https://sw.dei.gov.ua/post/3485> – 14.11.2024р.

- [3] Sukhija, M., & Chopra, A. Internet of Things (IoT)-enabled water quality monitoring systems: A review. Environmental Science and Pollution Research, 2019 URL: https://www.researchgate.net/publication/344158165_Internet_of_Things_for_Water_Quality_Monitoring_and_Assessment_A_Comprehensive_Review – 16.11.2024р.
- [4] К. О. Біла, А. Р. Ящолт. Оперативна система екологічного моніторингу поверхневих вод. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/10603/865.pdf>
- [5] Santhosini R., Subhiksha U., Jayanthi V., et al. Review on Evaluation and Analysis of Water Quality Monitoring Systems Using IoT, 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/384379922_Review_on_Evaluation_and_Analysis_of_Water_Quality_Monitoring_Systems_Using_IoT – 16.11.2024р.
- [6] Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника. Факультет природничих наук. Попов, Якуніна. Лекція 5. Сучасні методи і засоби контролю забруднення поверхневих та підземних вод. URL: <https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2020/09/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F-5-%D0%9D2%D0%9E-n.pdf> – 15.11.2024р.
- [7] Hu, W., et al. Applications of GIS and remote sensing techniques in water resources management. 2010. URL: https://www.researchgate.net/publication/224173780_Application_of_GIS_and_remote_sensing_techniques_for_water_resources_management – 15.11.2024р.

Наук. керівник – к.т.н, доцент, Маркін М.О.

УДК 543.271.3

*І.В. Приміський, аспірант, Р.Р. Рудницький, аспірант, к.т.н., ас. Івасенко В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ВІДПРАЦЬОВАНІ ГАЗИ АВТОМОБІЛІВ, НОРМАТИВИ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Анотація Теза присвячена дослідженню національних стандартів, засобів інструментального контролю та методів вимірювання автомобільних викидів, які регламентовані в Україні. Розглядаються принципи роботи і особливості використання приладів для контролю відпрацьованих газів: димомірів (для визначення димності) та газоаналізаторів (для вимірювання вмісту оксиду вуглецю і вуглеводнів).

Ключові слова: контроль, газоаналізатор, димомір, двигун, димність, оксиду вуглецю та вуглеводнів

ВСТУП

Швидка автомобілізація в світі та зростання кількості транспортних засобів гостро порушують питання екологічної безпеки. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) та інших міжнародних екологічних організацій, транспорт у містах може бути джерелом близько 30-50% забруднення повітря. У складі відпрацьованих газів автомобільних двигунів виділяють основні забруднюючі речовини: діоксид сірки (SO₂), оксид вуглецю (CO), діоксид вуглецю (CO₂), оксид азоту (NO_x), вуглеводні (C_nH_m), а також частинки сажі. Нормування і контроль викидів відпрацьованих газів (далі викидів) автомобілів є однією з основних проблем в світі та Європі.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Більшість країн світу активно досліджують вплив викидів на довкілля та людей, аналізують пов'язані економічні збитки та розробляють національні стандарти для регулювання рівнів автомобільних викидів [1, 2]. Детальний аналіз окремих шкідливих газових компонентів, твердих частинок відпрацьованих газів, методи їх зниження розглянуті в відповідних дослідницьких працях [3, 4]. Всі ці заходи сприяють впровадженню більш жорстких екологічних вимог до автомобілів та стимулює розвиток передових методів контролю викидів.

Однак в вищезгаданих публікаціях не розглядаються питання принципу дії та безпосередньо використання засобів інструментального контролю: газоаналізаторів і димомірів для контролю відпрацьованих газів.

НАЦІОНАЛЬНІ СТАНДАРТИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

В Україні нормативною базою для контролю автомобілів на димність, вміст оксиду вуглецю та вуглеводнів в умовах експлуатації є ДСТУ 4276-04 [5] і ДСТУ 4277-04 [6] відповідно. Ці нормативи контролюються за допомогою відповідних засобів вимірювальної техніки: димомірів і газоаналізаторів відповідно.

ВИМІРЮВАННЯ ДИМНОСТІ

Вимірювання димності відпрацьованих газів двигунів автомобілів проводять у режимі вільного прискорення двигуна за допомогою приладів – димомірів.

Принцип дії димомірів базується на вимірюванні оптичної густини сфокусованого потоку світла, що проходить через відпрацьований газ (див. рисунок 1). Рівень ослаблення світлового потоку до попадання на відпрацьований газ і після проходження через нього і є мірою димності. Димність вимірюється у двох одиницях:

- а) коефіцієнт ослаблення світового потоку N , %;
- б) натуральному показнику ослаблення світового потоку K , m^{-1} .

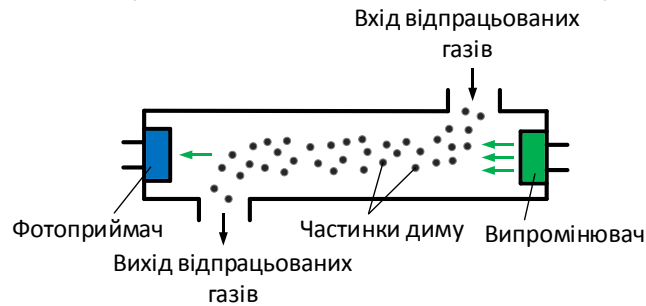


Рисунок 1. Принципова схема пробовідбірної камери димоміра

Натуральний показник ослаблення світлового потоку K – величина, обернена до товщини шару відпрацьованих газів, проходячи який, потік випромінювання від джерела світла димоміра ослаблюється в e разів:

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln\left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right) \quad (1)$$

де Φ – світловий потік від джерела світла димоміра, який реєструє фотоелемент після проходження потоку крізь вимірюване середовище відпрацьованих газів у вимірювальній камері димоміра; Φ_0 – світловий потік від джерела світла димоміра, який реєструє фотоелемент після проходження потоку крізь чисте повітря у вимірювальній камері димоміра, не заповненій відпрацьованими газами, L – ефективна база димоміра, м.

Коефіцієнт ослаблення світового потоку – ступінь ослаблення світлового потоку внаслідок поглинання і розсіювання світла відпрацьованими газами під час проходження ними вимірювальної камери:

$$N = 100 \cdot \left(1 - \frac{\Phi}{\Phi_0}\right) \quad (2)$$

Перерахунок значень N у K здійснюють за формулою 3 [5]:

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right) \quad (3)$$

Для забезпечення правильності результатів при порівнянні даних, одержаних при вимірюваннях димності, необхідно знати температуру і тиск у зоні вимірювання, оскільки ці параметри впливають на коефіцієнт ослаблення світлового потоку (K).

В димомірах як джерело світла використовують лампу розжарювання з випромінюваною температурою в діапазоні від 2800 К до 3250 К або зелений світловипромінювальний діод з амплітудою спектра в діапазоні від 550 нм до 570 нм. Ефективна база димоміра повинна становити $L = 0,43$ м. Димомір повинен бути оснащений каналом для виміру температури оливи (0–150 °С), тахометром для виміру частоті обертання двигуна (0–6000 об/хв) та принтер для друку результатів вимірювань. Основна приведена похибка вимірювань не повинна

перевищувати $\pm 2\%$. Прикладом таких сучасних димомірів є ИДП-2 (Україна), OPACALYT 1030 (ФРН), DUNLOP DLP SMOKE METER (Англія).

ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ ОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ТА ВУГЛЕВОДНІВ

Контроль вміст оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів під час роботи двигуна в режимах холостого ходу здійснюють за допомогою автоматичних газоаналізаторів. Як одиниця виміру концентрацій застосовується: об'ємний відсоток «% об.», або його доля «ppm», що дорівнює «0,0001 об. %».

Вказані в ДСТУ 4277-04 нормативи викидів, визначають вимоги до газоаналізаторів, а саме діапазони вимірювання: CO 0 - 5 % об., CH 0 - 10000 ppm, основна приведена похибка вимірювань $\pm 2\%$. Також встановлені метрологічні вимоги до вимірювання температури оливи в діапазоні 50–150 °С, і частоти обертів двигуна 0–5000 об/хв. Тобто газоаналізатор повинен мати два вимірювальних газових канали: CO і CH і канали вимірювання температури і частоти обертів двигуна.

Принцип дії газоаналізатора побудований на вимірюванні поглинання інфрачервоного випромінювання відповідним газом CO або CH, на характерній йому довжині хвилі, в інфрачервоній частині спектру (рисунок 2) [7]. Властивість поглинати молекулами інфрачервоне випромінювання пов'язано з частотними властивостями коливань атомів і молекул, а також з обертанням молекул, з енергетичними рівнями електронів, атомів і молекул.

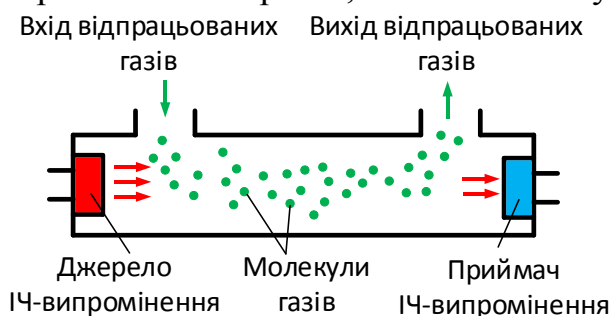


Рисунок 2. Принципова схема пробовідбірної камери інфрачервоного газоаналізатора

Інтенсивність інфрачервоного випромінювання I , яке проходить через аналізуємий газ, визначають за законом Бугера-Ламберта -Бера:

$$I = I_0 \exp(-\varepsilon(\lambda) \cdot c \cdot L) \quad (4)$$

де I_0 – інтенсивність інфрачервоного випромінювання, що проходить через аналізуємий газ; $\varepsilon(\lambda)$ – питомий коефіцієнт поглинання для даного газу, який є функцією довжини хвилі λ ; c – концентрація аналізованого газу, який поглинає випромінювання з довжиною хвилі λ ; L – довжина поглинального шару аналізованого газу.

Відповідно до виразу (4), концентрацію газу c визначають рівністю:

$$c = -\frac{1}{\varepsilon(\lambda) \cdot L} \cdot \ln \frac{I}{I_0} \quad (5)$$

Газ відбирається повітряним насосом надходить до газоаналізатора в оптичну кювету, яка опромінюється від джерела інфрачервоного випромінювання, відповідно на фіксованій, характерній тільки для даного газу

довжині хвилі відбувається поглинання потоку випромінювання залежно від концентрації газу. Приймач випромінювання фіксує зміни інтенсивності потоку випромінювання функціонально пов'язані з концентрацією газу. Розділення потоку випромінювання на вході приймача відбувається за допомогою вхідних оптичних інтерференційних фільтрів [7]. Прикладом таких приладів 102 ФА-04 (Україна), INFRALYT SMART (ФРН).

ВИСНОВОК

Контроль відпрацьованих газів автомобілів є глобальною проблемою і кожна країна створює свої нормативи і стандарти, які регламентують рівні викидів шкідливих речовин. Такі національні стандарти з 2006 р. діють і в Україні. В національних ДСТУ окрім нормативів викидів регламентуються також і вимоги до технічних характеристик газоаналізаторів і димомірів: метод газового аналізу, діапазон, вимірювання, похибка, швидкодія.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Geurts, D. Mananing Euro IV: Cost – Effective Solution for Emission– Busting Technology [Text] / D. Geurts, B. Schreurs, M. Petetrs // Engine Technology International. – 1998. – Vol. 2. – P. 23–26.
- [2] Krahl, J. Fuel economy and environmental charecteristics of biodiesel and low sulfur fuels in diesel engines [Text] / J. Krahl, A. Munack, O. Schroder, A. Hassaneen // Landbauforschung Volk-enrode. – 2005. – Vol. 55, Nr. 2. – P. 72–79.
- [3] Козак, Ф. В. Про методи зниження токсичності відхідних газів автомобільних двигунів внутрішнього згоряння [Текст] / Ф. В. Козак, В. М. Мельник // Журнал «Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ». ІФТУНГ. – 2012. – № 3(44). – С. 121–127.
- [4] Парсаданов, І. В. Визначення складу твердих частинок складу відпрацьованих газів дизелів [Текст] / І. В. Парсаданов, І. П. Васильєв // Двигуни внутрішнього згоряння: зб. ст. НТУ «ХП». – 2013. – № 2. – С. 97–101.
- [5] Державний стандарт України ДСТУ 4276:2004 «Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями». [Текст] / -К.: Держспоживстандарт України , 2005
- [6] Державний стандарт України ДСТУ 4277:2004 «Норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів, які працюють на бензині або газовому паливі». [Текст] / -К.: Держспоживстандарт України , 2005
- [7] Приміський, В. П. Сучасні оптико-електронні схеми інфрачервоних газоаналізаторів [Текст] / В. П. Приміський // Журнал «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології». ВНТУ. – 2005. – № 1 (9). – С. 77–81.

УДК 535.37.620.1

М.Р. Пукіш, студент гр. ПІ-32мп, к.т.н, доц. Мокійчук В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА КАЛІБРУВАННЯ НЕФЕЛОМЕТРІВ

Анотація. У статті представлено розробку системи калібрування нефелометрів із використанням датчика турбідності DFRobot (SKU: SEN0189) на базі Arduino. Методика базується на калібруванні за допомогою стандартного розчину формазину. Розглянуто ключові етапи розробки, алгоритми роботи системи, а також переваги її використання.

Ключові слова: нефелометр, калібрування, формазин, турбідність, Arduino.

ВСТУП

Сучасні вимірювальні системи для визначення каламутності рідин знаходять широке застосування в екологічному моніторингу, водоочисних технологіях та харчовій промисловості. Калібрування є важливою частиною експлуатації таких систем, оскільки забезпечує точність вимірювань і стабільність результатів. У цій роботі представлено систему калібрування нефелометрів, розроблену із застосуванням датчика турбідності DFRobot (SKU: SEN0189). Використання формазину, як стандартного розчину з відомою мутністю, дозволяє досягти високої точності у калібруванні.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є розробка та реалізація системи калібрування нефелометрів із використанням доступного датчика турбідності SEN0189, що забезпечує точне визначення каламутності в одиницях NTU (Nephelometric Turbidity Units).

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Обладнання системи.

Основними компонентами розробленої системи є: Датчик турбідності DFRobot (SKU: SEN0189), Arduino Uno як контролер для зчитування даних із датчика, LCD-дисплей для виводу результатів вимірювань.



Рисунок 1. Датчик SEN0189.



Рисунок 2. LCD дисплей.



Рисунок 3. Arduino Uno

Програмна реалізація.

Для роботи з датчиком реалізовано програмний код на мові C++ у середовищі Arduino IDE. Код дозволяє зчитувати напругу з датчика, калібрувати систему за допомогою стандартного розчину формазину та перетворювати

сигнал у значення NTU. Значення NTU обраховуються за допомогою формули:

$$U = \left(\frac{V - V_{turbid}}{V_{clear} - V_{turbid}} \right) \cdot (NTU_{max} - NTU_{min}) + NTU_{max};$$

де:

NTU — значення каламутності в одиницях NTU.

V — виміряна напруга з датчика.

V_{turbid} — напруга, яка відповідає сильно каламутній воді (4000 NTU).

V_{clear} — напруга, яка відповідає дистильованій воді (0 NTU).

NTU_{max} — максимально можливе значення NTU (4000).

NTU_{min} — мінімальне значення NTU (0).

МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ.

Система калібрування нефелометрів підтримує два варіанти роботи, а саме з використанням уже встановлених еталонних значень і з можливістю калібрування власноруч. Обидва підходи забезпечують точне налаштування датчика для вимірювання каламутності в одиницях NTU.

Використання встановлених еталонних значень підходить для швидкого налаштування системи без необхідності додаткових вимірювань. У системі за замовчуванням встановлені напруги для двох контрольних точок:

Дистильована вода (0 NTU) - 4.05В.

Формазинова суспензія (4000 NTU) - 1.4В.



Рисунок 4. Формазинова суспензія

При активації цього режиму система автоматично використовує ці значення для обчислення NTU.

Режим калібрування власноруч дозволяє користувачу вручну задати контрольні точки, використовуючи еталонні зразки води. Це нам може бути корисно, якщо ми хочемо під'єднати до нашої системи інший датчик, або встановити нові контрольні точки.



Рисунок 5. Режими роботи системи.

ВИСНОВКИ

Розроблена система калібрування нефелометрів із використанням датчика SEN0189 та Arduino є універсальним, доступним і ефективним рішенням для лабораторного та промислового використання. Основними перевагами цієї системи є низька вартість компонентів, простота в налаштуванні та експлуатації, а також висока точність вимірювань, яка забезпечується за рахунок використання стандартного розчину формазину для калібрування.

Система підтримує два режими калібрування: з використанням попередньо встановлених еталонних значень і можливістю власноручного налаштування під конкретні умови вимірювання. Така гнучкість дозволяє адаптувати систему до різних середовищ і типів рідин, забезпечуючи надійні результати в діапазоні від 0 до 3000 NTU

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] ISO 7027:1999. Water quality — Determination of turbidity.
- [2] Офіційна документація DFRobot. Датчик каламутності SKU: SEN0189. https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU_SEN0189. — Дата звернення: 21 листопада 2024 року.
- [3] Мостовий В. А. Системи оптико-електронного вимірювання у приладобудуванні. — Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2019. — 250 с.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Мокійчук В.М.

УДК 621.382

В.В. Рожков, В.В. Жидков, студент гр. ПІ-32мп. PhD, доц. Дорожнинська Г.В.
КПІ ім. І. Сікорського

ОЦІНКА ЯКОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ НА ОСНОВІ ОПТИЧНИХ ХВИЛЬ

Анотація. У роботі розглядається проблема забруднення водних ресурсів та необхідність розробки інноваційних підходів до їх очищення і моніторингу. Особливу увагу приділено використанню сенсорів на основі поверхневого плазмонного резонансу, які забезпечують високу чутливість та точність у реальному часі. Результати досліджень із застосуванням приладу «Плазмон-6» демонструють перспективність технологій, заснованих на поверхневих оптичних хвилях, для підвищення ефективності оцінки якості води.

Ключові слова: ППР-сенсор, вода, вуглецевий фільтр.

ВСТУП

Питання забезпечення чистоти води є однією з найбільш важливих проблем сучасного суспільства. Зважаючи на зростання забруднення водних ресурсів, яке є наслідком діяльності людини, виникає необхідність у розробці ефективних методів очищення води. Традиційні методи очищення, хоча і здатні забезпечити належний рівень якості води, часто мають значні недоліки, зокрема необхідність використання хімічних реагентів, а також обмежену точність оцінки якості води в реальному часі. У цьому контексті особливу увагу привертають новітні методи на основі оптичних хвиль, які обіцяють не лише підвищення ефективності очищення, а й забезпечення точності в оцінці якості води.

Вода є основним ресурсом для підтримки життя та джерелом всього живого на Землі, але її нерівномірний розподіл по континентах неодноразово призводив до криз і соціальних катастроф. Проблема дефіциту прісної води відома людству з давніх часів і з кінця двадцятого століття постійно визнається однією з найважливіших глобальних проблем. Зі збільшенням населення Землі масштаби споживання води зростають, що, в свою чергу, призводить до посилення вододефіциту. Це негативно впливає на умови життя людей і сповільнює економічний розвиток країн, що стикаються з цією проблемою. Вчені з різних країн активно працюють над розробкою нових технологічних рішень для подолання цієї складної ситуації [1].

МЕТА РОБОТИ

Одним із найбільш перспективних підходів є використання поверхневих оптичних хвиль, зокрема сенсорів на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР), для визначення параметрів води, таких як рівень забруднення, концентрація розчинених часток та наявність шкідливих мікроорганізмів. Цей метод дозволяє здійснювати моніторинг води в реальному часі, що є особливо важливим для швидкого виявлення змін у якості води та своєчасного реагування на потенційні загрози [2].

Завдяки високій чутливості, можливості безконтактного вимірювання та швидкості отримання результатів, технології, засновані на оптичних хвилях, відкривають нові горизонти для оцінки та контролю якості очищення води. Це робить дану тему актуальною і надзвичайно важливою для розвитку новітніх методів водоочищення та забезпечення належної якості водних ресурсів у майбутньому.

ОПИС І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для експериментальних досліджень використано прилад серії «Плазмон», а саме «Плазмон-6» (рис. 1), розроблений в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Він складається з монохроматичного джерела випромінювання, тобто лазера з довжиною хвилі 650 нм, призми, чутливого елемента з тонким шаром провідного матеріалу (плазмоносійний шар) та фотоприймачів, що реєструють зміну інтенсивності випромінювання [3]. Тонким шаром провідного матеріалу у дослідженні виступала золота плівка товщиною $d = 52,8$ нм.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд приладу «Плазмон-6»

Принцип роботи полягає у визначенні зміни оптичних параметрів досліджуваного середовища шляхом вимірювання кутового зсуву мінімуму характеристики відбиття $\Delta\theta_{\min}$ при ППР. Характеристика відбиття $R(\theta)$ – це залежність коефіцієнту відбиття R від кута падіння θ цього світла на межу поділу середовищ плазмоносійний шар-досліджуване середовище. При кутовому скануванні фіксується зменшення інтенсивності відбитого світла при певному куті падіння світла θ_{\min} (резонансний кут). Прилад дозволяє отримувати кінетику вимірювань різних середовищ та порівнювати ці результати. На рисунку 2 наведена кінетика вимірювань води без фільтрування та після фільтрування.

Об'єктом дослідження були дистильована деіонізована вода та вода з міського водоканалу до очищення та після очищення. Дослідження зразків води проводилось при температурі вимірювання 16 °С. Порівнювались результати з дистильованою деіонізованою водою для визначення забрудненості води з крану. Вода з крану пропускала через два вуглецеві фільтри Aquarhog, який включає гранули активованого вугілля. Гранульований сорбент всередині використовується для видалення хлору, хлорорганічних сполук, знижує вміст заліза, свинцю, фенолу, пестицидів. Фільтр 1 додатково очищує воду від нафтопродуктів, а фільтр 2 - від бензолу.

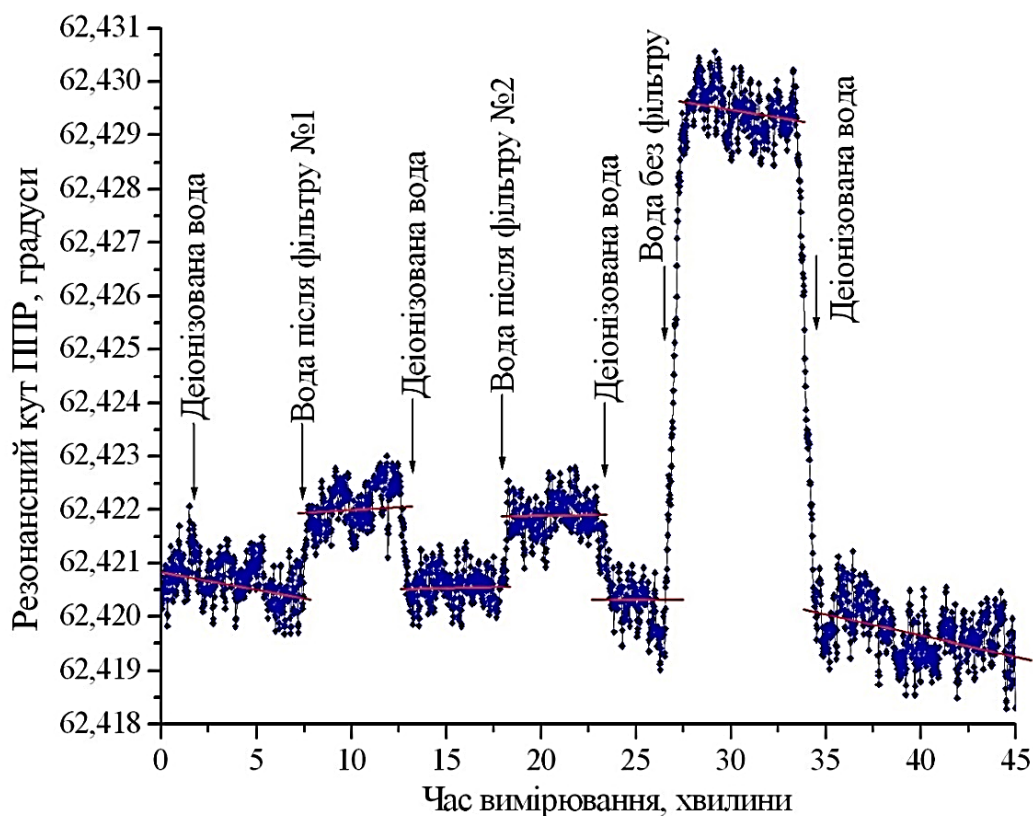


Рисунок 2 – Кінетика зміни кутового положення мінімуму характеристик відбиття θ_{\min} для досліджуваних зразків води

За результатами розрахунків було визначено, що зміщення резонансного кута для двох типів фільтрів однакове. Результати експерименту з використанням методу ППР для водопровідної води до та після фільтрації подано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження зразків води

Зразки дослідження	Зсув резонансного кута $\Delta\theta_{\min}$, кут. град.
Водопровідна вода	0,0095
Водопровідна вода після фільтрації	0,00138

ВИСНОВКИ

Зсув резонансного кута $\Delta\theta_{\min}$, це різниця резонансного кута θ_{\min} досліджуваного зразка та резонансного кута θ_{\min} для зразка дистильованої води, що визначались в кутових градусах (кут. град.). Зразки, які були пропущені через вуглецеві фільтри виявились майже в 7 разів чистіше, ніж зразок з неочищеною водою. Завдяки даному дослідженню можна стверджувати, що вуглецеві фільтри добре підходять для очищення води у побутових умовах. Результати проведеного дослідження будуть використані у процесі розробки методики на основі поверхневих оптичних хвиль для оцінки якості пасивних систем очищення води.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Червецова В., Кузьменко І., Петренко С. та ін. Огляд деяких сучасних технологій водоочищення // Тези доповідей I Міжнародної науково-технічної конференції „Якість води: біомедичні, технологічні, агропромислові і екологічні аспекти“. — 2021. — С. 12-13.
- [2] Yamamoto M. Surface plasmon resonance (SPR) theory: tutorial // Review of Polarography. — 2002. — Vol. 48, No. 3. — P. 209-237.
- [3] Дорожинський, Г. В., Ляпін, О. М., Дорожинська, Г. В., & Маслов, В. П. (2017). Стан та проблеми розробки чутливих елементів приладів на основі явища поверхневого плазмонного резонансу. Оптоелектроника и полупроводниковая техника, (52), 37-49.

Наук. керівник – доцент, PhD. Дорожинська Г.В.

УДК 621.307.13

М. М. Самойленко, студент гр. ПІ-32мп, к.т.н., ас. Івасенко В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИПРОМІНЮВАННЯ ОБ'ЄКТА

Анотація. Текст присвячений закону Стефана-Больцмана і його застосуванню для реальних тіл у контексті теплового випромінювання. Розглянуто поняття абсолютно чорного тіла, а також сірого тіла, яке використовують як модель реальних об'єктів із меншим коефіцієнтом випромінювання. Зазначається важливість врахування коефіцієнта випромінювання при використанні пірометрів для вимірювання температури. Розкрито дві основні ситуації, які потребують коригування коефіцієнта випромінювання об'єкта.

Ключові слова: пірометр, коефіцієнт, випромінювання, температура.

ВСТУП

Вимірювання температури об'єкта з високою швидкістю є важливим для багатьох галузей виробництва, а також при проведенні наукових досліджень і навіть в побуті. Контроль температури можна здійснювати за допомогою контактних або безконтактних методів. В межах питання вимірювання температури великий інтерес представляють безконтактні пірометри. Безконтактні пірометри дозволяють вимірювати температуру об'єкта без прямого контакту з ним і базуються на реєстрації інфрачервоне випромінювання, яке випромінюється об'єктом залежно від його температури. На показання пірометра впливає середовище яке знаходиться між пірометром та об'єктом, а також коефіцієнт випромінювання самого об'єкта який залежить від матеріалу з якого він зроблений. В пірометрах для забезпечення малої похибки потрібно застосовувати конкретні значення коефіцієнта випромінювання для конкретного матеріалу.

Ціллю даної роботи є розрахунок коефіцієнта випромінювання об'єкта, який, для різних матеріалів, дозволять підвищити достовірність вимірювання його температури.

1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ

Будь яке нагріте тіло випромінює теплову енергію. У роботах визначено безконтактні методи замірювання температури нагрітих тіл [1,2]. Залежно від того який закон теплового випромінювання використовується як основа для вимірювання температури, визначають три умовні температури: радіаційну (термодинамічну), яскравісну, колірну [1,2,3]. Ці температури пов'язані із реальною температурою об'єкта та його здатністю випромінювати енергію. В [4] здійснено порівняльну характеристику контактних та безконтактних засобів вимірювання температури та чинників, що призводять до зниження точності засобів пірометрії. В [5] досліджено вплив випромінювальної здатності матеріалів на точність тепловізійного методу.

2. ТЕОРЕТИЧНА ОСНОВА ВИМІРЮВАННЯ TEMПЕРАТУРИ ПІРОМЕТРАМИ

Згідно закону Стефана-Больцмана [3], будь яке тіло випромінює теплову енергію (R) пропорційну її температурі поверхні (T) в четвертому степені і коефіцієнта пропорційності (σ) (стала Стефана-Больцмана).

Випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла (АЧТ) залежить від четвертого степеню його абсолютної температури

$$R = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

де $\sigma = 5,668 \cdot 10^{-8}$ Вт / (м² * К⁴) – стала Стефана-Больцмана.

Рівняння Стефана-Больцмана, враховує властивостей АЧТ, яке є ідеальним поглиначем з коефіцієнтом поглинання, що дорівнює 1. Однак майже неможливо досягти ідеального чорного тіла. У реальних тіл коефіцієнт поглинання завжди менший за одиницю. Це означає, що вони поглинають і, відповідно, випромінюють менше енергії, ніж АЧТ. Тому для полегшення реального застосування закону Стефана – Больцмана вводять поняття сірих тіл. Сірим тілом називають спрощену модель реальних об'єктів, що дозволяє точніше розрахувати процеси поглинання та випромінювання теплової енергії. Для цього в формулу Стефана – Больцмана вводять додатковий множник

Якщо тіло сіре, то в формулу Стефана – Больцмана вводять додатковий множник (менший одиниці) і формулу записують у вигляді:

$$Re = k \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2)$$

де k – коефіцієнт теплового випромінювання (коефіцієнт монохроматичного поглинання або поглинальна здатність).

4 КОЕФІЦІЄНТ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Оскільки різні матеріали мають різний коефіцієнт випромінювання, тому для правильного вимірювання температури це слід врахувати та використовувати в роботі з пірометром. Зазвичай пірометри калібрують на виробництві або в метрологічних лабораторіях за допомогою АЧТ коефіцієнтом випромінювання = 99,9%, який в пірометрі вважають як 1. Потім в пам'ять приладу встановлюють реальний коефіцієнт випромінювання, який менший одиниці, зазвичай 0,95. Є моделі пірометрів в яких можливо встановлювати коефіцієнта випромінювання [7]. Але коефіцієнт випромінювання дуже сильно залежить від матеріалу поверхні об'єкта, а також його стану (шорсткості, наявності забруднення, іржі і т.п.). Отже при неправильному визначенні коефіцієнта випромінювання можна отримати похибку в десятки градусів.

Отже, визначення коефіцієнта випромінювання дозволить підвищити достовірність вимірювання.

5. ВИЗНАЧЕННЯ НОВОГО КОЕФІЦІЄНТА ВИПРОМІНЮВАННЯ

Загалом, корегування коефіцієнта випромінювання необхідна лише тоді коли ІЧ-випромінювання від матеріалу зменшується певним чином, наприклад [7]:

- матеріал об'єкта вимірювання має коефіцієнта випромінювання, відмінний від коефіцієнта який встановлено в приладу;
- розташування ІЧ-прозорого матеріалу (прозорість завжди менше 1) перед давачем.

Для визначення нового коефіцієнта, необхідно виконати наступні дії, при цьому спочатку переконавшись, що коефіцієнт випромінювання в приладі становить 1.

5.1 ВИПАДОК 1. КОЛИ ПЕРЕД ПІРОМЕТРОМ РОЗМІЩЕНО ПРОЗОРИЙ МАТЕРІАЛ

Цей випадок вважається простішим, адже вважається, що коефіцієнт випромінювання об'єкта відомий, а потрібно дізнатися коефіцієнт випромінювання шару прозорого матеріалу. В цьому випадку пірометр використовується, щоб визначити вихідну температуру об'єкта до того, як між об'єктом і пірометром розмістити шар прозорого матеріалу.

Процедура складається з таких етапів:

1. Об'єкт нагрівається до температури відмінної від температури приміщення і підтримується стабільною. Бажано користуватися правилом, що різниця температур між об'єктом та приміщенням була більшою 30°C.

2. Вимірюється фактична температура об'єкта $T_{O(дійсна)}$, а також температура приміщення $T_{A(дійсна)}$. Вимірювання цих температур виконується пірометром.

3. Розмістити прозорий матеріал перед пірометром і виміряти його температуру. При цьому потрібно звернути увагу, щоб вимірювання були правильні то температура прозорого матеріалу має бути такою самою як температура приміщення, інакше пірометр визначить температуру прозорого матеріалу і це призведе до похибки.

4. Виконати вимірювання температури об'єкта і приміщення, записавши температури як $T_{O(нова)}$ та $T_{A(нова)}$ відповідно. При цьому температура приміщення $T_{A(нова)}$ має бути, загалом, такою як і при попередньому вимірюванні, тобто $T_{A(нова)} \approx T_{A(дійсна)}$.

5. За формулою розраховується новий коефіцієнт випромінювання, при цьому значення температур записується в Кельвінах:

$$k = \frac{T_{O(нова)}^4 - T_{A(нова)}^4}{T_{O(дійсна)}^4 - T_{A(дійсна)}^4}, \quad (3)$$

5.2 ВИПАДОК 2. ЯКЩО МАТЕРІАЛ ОБ'ЄКТА МАЄ КОЕФІЦІЄНТ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ВІДМІННИЙ ВІД 1

Щоб вирахувати нове значення коефіцієнта випромінювання, потрібно знати реальну температуру об'єкта. Це можна зробити двома способами:

- використати точний контактний термометр

- пофарбувати частину об'єкта, щоб можна було виміряти температуру цієї намальованої плями пірометром. При цьому фарба повинна мати коефіцієнт випромінювання 1, а також сама пляма бути більшою за поле зору пірометра.

Далі процедура складається з таких етапів:

1. Об'єкт нагрівається до температури відмінної від температури приміщення і підтримується стабільною. Бажано користуватися правилом, що різниця температур між об'єктом та приміщенням була більшою 30°C.

2. Визначається реальна температура предмета $T_{O(дійсна)}$, використовуючи один із наведених вище способів. Також використовуючи пірометр вимірюється температура приміщення $T_{A(дійсна)}$.

3. Вимірюється температура поверхні об'єкта з використанням пірометра $T_{O(дійсна)}$. Також використовуючи пірометр вимірюється температура приміщення

$T_{A(нова)}$. При цьому температура приміщення $T_{A(дійсна)}$ та $T_{A(нова)}$ мають бути, загалом однаковими, тобто $T_{A(нова)} \approx T_{A(дійсна)}$.

5. За формулою розраховується новий коефіцієнт випромінювання, при цьому значення температур записується в Кельвінах:

$$k = \frac{T_{O(нова)}^4 - T_{A(нова)}^4}{T_{O(дійсна)}^4 - T_{A(дійсна)}^4}, \quad (4)$$

ВИСНОВОК

Будь-яке тіло випромінює теплову енергію, яка пропорційна температурі його поверхні в четвертому ступені та коефіцієнту пропорційності. Вимірюючи цю теплову енергію можна визначити температуру поверхні дистанційно. Для переходу до сірих тіл потрібно помножити результат на коефіцієнт випромінювання об'єкта, який завжди менше 1. Працюючи з пірометрами важливою властивістю цих приладів є можливість корекції коефіцієнта випромінювання. Провівши корегування коефіцієнта випромінювання дозволить правильно налаштувати пірометр для виконання достовірних вимірювань без необхідності повторного калібрування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Бабич О.О. Визначення безконтактних методів вимірювання температури нагрітих тіл / О.О. Бабич, Н.М. Александрова // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 1. – С. 69-71.
- [2] Скорик Б. І. До питання застосування безконтактних методів вимірювання температури нагрітих тіл / Б. І. Скорик, А. В. Гейко // Системи обробки інформації. - 2007. - Вип. 9. - С. 129-132. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2007_9_34.
- [3] Протасов, А. Г. Технології теплового неруйнівного контролю / А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 133 с.
- [4] Брао І. Аналіз проблематики та перспективних напрямів розвитку безконтактної термометрії / І. Брао // Вимірювальна техніка та метрологія . - 2014. - Вип. 75. - С. 40-44. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/metrolog_2014_75_10.
- [5] Оборський Г. О. Дослідження впливу випромінювальної здатності матеріалів на точність тепловізійного методу контролю [Електронний ресурс] / Г. О. Оборський, О. С. Левинський, М. О. Голофєєва // Технологічний аудит та резерви виробництва. - 2016. - № 2(3). - С. 4-7. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_2\(3\)_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_2(3)_2).
- [6] Пірометри [Елкетронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hot-land.com.ua/ua/g19968873-pirometry>.
- [7] Changing Emissivity Setting in MLX90614 (including changing 0x0F cell) [Елкетронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/application-notes/application-note-mlx90614-changing-emissivity-setting>

УДК 631.41

*Р. О. Соколюк, студент гр. ПІ-41мп, к.т.н., старший викладач Морозова М. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ОГЛЯД ПРОБЛЕМАТИКИ ЩОДО АНАЛІЗУ ҐРУНТУ І ЙОГО ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВІД ВОЄНИХ ДІЙ

Анотація. В даній статті було проведено огляд існуючих рішень щодо хімічного аналізу ґрунту. Висвітлено проблему хімічного забруднення ґрунту від воєнних дій

Ключові слова: Хімічний аналіз, хімічне забруднення, ґрунти, воєнні дії.

ВСТУП

На території України вже впродовж років ведуться бойові дії, внаслідок яких створюються вирви від артилерійських обстрілів та авіабомб, відбувається мінування територій, залишається розбита військова техніка. Це призводить до забруднення ґрунту, наприклад: витік палива з техніки, випалення землі, розкладання техніки, або її уламків. Це призводить до погіршення здоров'я людей і економіки країни.

Пошкодження ґрунту ділять на механічні, фізичні та хімічні. Кожен з них по своєму впливає на ґрунт викликаючи руйнування його структури та функцій.

Механічний вплив. Проявляється в деформуванні ґрунту від переміщення військової техніки, будівництва захисних споруд, розмінування територій. Це призводить до зміни структури ґрунту, через що може виникати ущільнення і заболочення, а також засмічення території різними уламками.

Фізичний вплив. Проявляється в пошкодженні ґрунту, наприклад від: вібраційного, радіоактивного та теплового впливу.

Хімічний вплив. Проявляється в зміні хімічного складу ґрунту через що змінюються його фізичні та хімічні властивості. А саме: кислотність (рН), зменшення вмісту поживних речовин і збільшенню вмісту токсичних. Через це цей ґрунт стає неможливо використовувати для сільського господарства.

До причин хімічного забруднення відносять пальне транспортних засобів, мастильні матеріали, сольвенти, відходи гальванічного виробництва, залишки вибухових речовин, дезактиваційні речовини, важкі метали та їхні сполуки, радіоактивні речовини [1].

Наприклад від детонації ракет відбувається виділення таких хімічних сполук: чадний і вуглекислий газ (CO і CO_2), а також водяна пара або просто вода (H_2O), що не є токсичними, оксиди азоту і сам азот (N_2 , NO , N_2O , NO_2), формальдегід (CH_2O), пари ціанистої кислоти (HCN), що може призводити до кислотних дощів, які змінюють рН ґрунту та викликають опіки рослин. Також відбувається виникнення токсичної органіки і окислення навколишніх ґрунтів.

Металеві уламки також не є безпечними, адже розкладаючись вони виділяють у навколишнє середовище не лише залізо а й вуглець, мідь, алюміній, сірку, та інші. Ці уламки виникають в наслідок згоряння танків, транспортних засобів, збитих літаків та інші залишки бойових дій [4].

Також все з вище згаданого спричиняю знищення рослин і мікроорганізмів у ґрунті.

ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО АНАЛІЗ ҐРУНТУ

Аналіз ґрунту проводять за такими параметрами як: його хімічний склад, токсичністю, кислотністю(pH), засоленістю, наявними хімічними речовинами і мікроорганізмами, вологістю, текстурою тощо.

Залежно від значення поживних речовин визначають які добрива треба вносити у ґрунт.

Кислотність(pH) ґрунту визначає які рослини зможуть рости в такій землі, цей показник зазвичай визначають за рахунок обчислення іонів водню.

Засоленість впливає на можливість рослин поглинати воду.

Наявність пестицидів може призводити як до відлякування шкідників, бур'янів і хвороб так і до отруювання рослин.

Хімічне забруднення призводить до того що знижують якість врожаю.

Агрохімічний аналіз ґрунту також передбачає перевірку на наявність важких металів, оскільки деякі з них дуже токсичні. Найбільш шкідливими вважають: свинець(Pb), миш'як(As), кадмій(Cd), хром(Cr), цинк(Zn), мідь(Cu), ртуть(Hg), нікель(Ni), літій(Li) та інші.

Фізичні характеристики ґрунту як склад(пісок, глина, та інші), текстура, впливають на можливість рослин отримувати з нього поживні речовини з водою.

Вологість може призводити як і до недостачі так і до надлишку води, вона також може змінюватися залежно від сезонів.

Не менш важливим є відбір проб ґрунту для аналізу, і його якість значно залежить від якості відбору. Основними методами є відбір за сітками або зонами.

За способом відбір проб за сіткою поле поділене на рівні за розміром сітки, зазвичай площею від 0,5 до 2 га.

Техніка відбору зразків ґрунту для аналізу за зонами передбачає відбір середніх проб з кожної зони, на які ділиться поле відповідно до карт посівів або типу ґрунту [2].

Для того щоб почати аналіз необхідно провести процедуру відбору проби ґрунту, після пробо-підготовку і надалі сам аналіз.

Ґрунтовою пробою є деякою кількістю ґрунту, який відібрали для досліджень, розрізняють декілька видів: первинна, середня лабораторна і аналітична [3].

ІСНУЮЧІ КОМПАНІЇ, ЯКІ ПРОВОДЯТЬ ХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ҐРУНТУ

Компанія «АГРОТЕСТ» проводить такі виміри: засоленість, кислотність, органічна речовина %, NO₃-N, P(Mehlich P-III; Bray P-I), P (Olsen), K (NH₄OAc), Mg (NH₄OAc), SO₄-S (Turbo), Zn (DTPA), Mn (DTPA), Cu (DTPA), Fe (DTPA), Co (DTPA) [5].

Компанія «Судова незалежна експертиза України» проводить такі виміри: гумусові кислоти, азот амонійний, азот, фосфор рухомий, pH, обмінна кислотність у ґрунті, марганець рухомий, хлорид [6].

Компанія «АгроХімАналіз» проводить наступні виміри за трьома спрямуваннями:

1 – (8 показників), макроелементи: азот нітратний, азот легко гідролізний, фосфор рухомий, калій рухомий. Загальні показники: органічна речовина

(гумус), рН водної витяжки, рН сольової витяжки, засоленість загальна.

2 – (14 показників), макроелементи: азот нітратний, азот легкогідролізний, фосфор рухомий, калій рухомий. Загальні показники: органічна речовина (гумус), рН водної витяжки, рН сольової витяжки, засоленість загальна, питома електропровідність, гідролітична кислотність. Мезоелементи: сірка рухома, кальцій обмінний, магній обмінний.

3 – (28 показників), макроелементи: азот нітратний, азот легкогідролізний, фосфор рухомий, калій рухомий. Загальні показники: органічна речовина (гумус), рН водної витяжки, рН сольової витяжки, засоленість загальна, питома електропровідність, гідролітична кислотність. Мезоелементи: сірка рухома, кальцій обмінний, магній обмінний. Мікроелементи рухомі: цинк, мідь, кобальт, марганець, молібден, залізо, бор, водна витяжка, хлориди, карбонати, бікарбонати, сульфати, натрій, калії, кальцій, магній, сума солей [7].

ВИСНОВОК

Наразі не існує спеціалізованих методик для хімічного аналізу ґрунту, який постраждав від воєнних дій. Існуючі аналоги або не охоплюють весь перелік шкідливих речовин які попадають в ґрунт через воєнних дій, або аналізують велику кількість показників більшість з яких не є використовуваними при цьому.

В майбутньому необхідно буде створити методику яка буде проводити аналіз саме за можливими забрудненням хімічними речовинами від воєнних дій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Чи можна вилікувати ґрунт від війни — відповіді на найпоширеніші запитання. – Режим доступу: <https://kurkul.com/spetsproekty/1423-chi-mojna-vilikuvati-grunt-vid-viyni--vidpovid-na-naypoishirenishi-zapitannya> – 23.11.2024 р.
- [2] Аналіз Ґрунту: Методи Тестування Та Тлумачення Результатів. – Режим доступу: <https://eos.com/uk/blog/analiz-gruntu/> – 23.11.2024 р.
- [3] Аналіз ґрунту в сучасній лабораторії. – Режим доступу: https://chemtest.com.ua/ua/analiz_pochvi_v_laboratorii – 23.11.2024 р.
- [4] Природа та війна: як військове вторгнення Росії впливає на довкілля України. – Режим доступу: https://ecoaction.org.ua/pryroda-ta-vijna.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA14a6BhBqEiwAqvrquh_qkENV2lQH-tipr3soUku2ieuM1T8jZbN5DsTDigO_KUmX4SoU-xoC4BAQAvD_BwE – 23.11.2024 р.
- [5] АГРОТЕСТ, Аналіз ґрунту. – Режим доступу: <https://agrotest.com/poslugi/analiz-gruntu/> – 23.11.2024 р.
- [6] Судова незалежна експертиза України, Хімічний аналіз ґрунту (дослідження ґрунту). – Режим доступу: <https://ekspertiza.com.ua/uk/analiz-hruntu> – 23.11.2024 р.
- [7] АгроХімАналіз, Аналіз ґрунту. – Режим доступу: <https://agrohimanaliz.com.ua/> – 23.11.2024 р.

Наук. керівник – к.т.н., старший викладач Морозова М. М.

УДК 621.317.7

Р.С. Теличко, студент гр. ПІ-32мп, к.т.н., доц. Щербань А.П.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТРЕКІНГОВА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Анотація. У статті розглянуто процес розробки трекінгової системи для сонячних панелей із використанням Raspberry Pi і відеокамери. Така система дозволяє автоматично орієнтувати панелі на сонце, що підвищує ефективність збору сонячної енергії. Робота демонструє потенціал інноваційного підходу до оптимізації сонячної енергетики.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, сталий розвиток, solar tracking system, комп'ютерний зір, Raspberry Pi

ВСТУП

Трекінгові системи, які автоматично змінюють орієнтацію панелей, слідкуючи за рухом сонця, вирішують проблему втрати енергії. Вони підвищують продуктивність сонячних установок, дозволяючи зібрати до 40% більше енергії [1]. Серед різних методів створення таких систем виділяється використання камер та обчислювальних платформ, наприклад, Raspberry Pi. Цей підхід поєднує в собі інноваційність і доступність, роблячи трекінгові системи більш гнучкими та зручними для користувачів. У цій статті ми розглянемо концепцію, ключові етапи розробки та переваги створення трекінгової системи для сонячних панелей з використанням Raspberry Pi і відеокамери.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Трекінгова система для сонячних панелей – це технологічне рішення, яке дозволяє максимально ефективно використовувати енергію сонця, автоматично змінюючи орієнтацію панелей для забезпечення їх постійної перпендикулярності до сонячних променів. Це досягається за допомогою сенсорів, камер, механічних компонентів і програмного забезпечення.

Існує кілька способів реалізації подібної системи, зокрема: використання фоторезисторів для відстеження положення сонця, застосування GPS-трекера або використання відеокамери. Варіант із відеокамерою як джерелом інформації має важливу перевагу – він є більш наочним для користувача. Спостерігаючи за зображенням із камери, можна легко визначити, чи спрямована панель на сонце, що значно простіше, ніж аналізувати числові дані з датчиків. Більше того, у разі збою системи, наприклад, якщо датчикі передають некоректні дані, візуальний контроль дозволяє швидко виявити проблему.

Реалізація моніторингу за допомогою відеокамери базується на комп'ютерному зорі для локалізації та виявлення об'єктів. Такі рішення можуть будуватись на основі нейронних мереж, які працюють подібно до звичайних моделей: вони приймають вхідні дані (зображення) та генерують вихідні дані (положення об'єктів). Нейронні мережі перетворюють вхідні дані через серію прихованих шарів, кожен з яких складається з нейронів — невеликих і простих блоків обробки. Кожен нейрон пов'язаний з багатьма іншими, що створює модель масової паралельної обробки. Нейрони мають параметри (ваги та зміщення), які можна налаштувати для зміни індивідуального виходу.

Ваги, зміщення та інші параметри конфігурації (наприклад, швидкість навчання, кількість епох тощо) коригуються в ітераційному процесі, який називається навчанням. Навчання є задачею оптимізації, де параметри встановлюються для мінімізації функції втрат на навчальному наборі даних. Функція втрат відображає розбіжність між основною правдою та прогнозом нейронної мережі. Мета машинного навчання — не тільки мінімізувати різницю між прогнозами та навчальними даними, але й забезпечити узагальнення для застосування до нових зразків. Для цього зазвичай використовується незалежний набір даних для перевірки [2].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Трекінгова система використовує методи аналізу зображення (в даному випадку – з камери Raspberry Pi) для визначення найяскравішої області на небі, що зазвичай відповідає положенню сонця. Для підвищення точності застосовуються алгоритми фільтрації (наприклад, Gaussian Blur) і пошуку максимуму яскравості.

Чому було обрано платформу Raspberry Pi:

1. Відомий своєю низькою вартістю.
2. Може використовуватися для багатьох цілей: від створення домашніх серверів і медіацентрів до систем автоматизації. Його можна використовувати навіть для навчання програмуванню та робототехніці.
3. Має величезну та активну спільноту користувачів, яка створює безліч навчальних матеріалів, бібліотек, програм і проєктів. Це дозволяє швидко знайти рішення та отримати допомогу.
4. Пристрій надзвичайно компактний, що дозволяє використовувати його в портативних проєктах або вбудовувати в інші пристрої.
5. Споживає мало електроенергії порівняно з традиційними ПК, що робить його ефективним для проєктів, де важлива автономність або зниження енергоспоживання.
6. Підтримує різноманітні операційні системи, включаючи спеціальні версії Linux. Крім того, його легко налаштувати та розширювати за допомогою різноманітних плат розширення та аксесуарів.

Таким чином, завдяки поєднанню доступної ціни, функціональності та широкої підтримки з боку спільноти, Raspberry Pi має багато переваг перед конкурентами. Панель монтується на рухомій платформі, що дозволяє змінювати її положення у двох площинах: горизонтальна площина (азимутальний кут): панель обертається зліва направо. Вертикальна площина (кут висоти): панель нахиляється вгору і вниз. Рух виконується за допомогою моторів, які керуються мікрокомп'ютером. Позиція сонця, отримана з камери, перетворюється на кути, які відповідають положенню сервомоторів алгоритм періодично оновлює положення панелей, щоб вони залишалися оптимально орієнтованими. На рисунку 1 зазначено структурну схему.

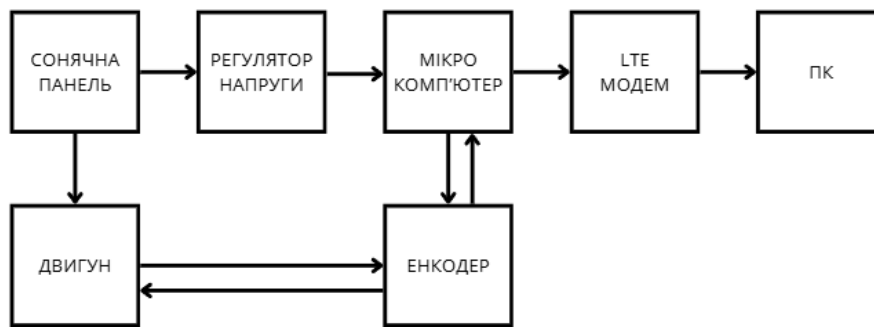


Рисунок 1 – структурна схема системи

Розглянемо роботу алгоритму для знаходження сонця оскільки сонце є найяскравішим об'єктом тому для знаходження його на зображенні потрібно відшукати групу найяскравіших пікселів для чого вихідне зображення переведено в чорно-біле, після чого яскравість кожного пікселю виражена числовим значенням від 0 до 225, щоб спростити пошук контуру шуканого об'єкту було видалено усі пікселі яскравість яких менша від 200. На рисунку 2 зображено вихідне зображення яке може бути зчитане з камери

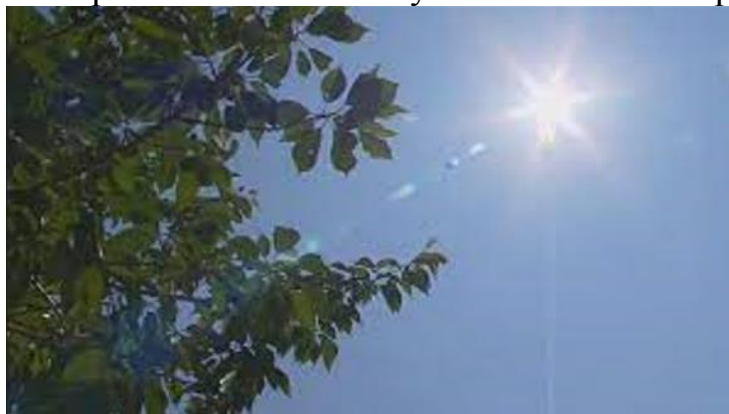


Рисунок 2 – вихідне зображення яке імітує дані отримані з камери

Знайдемо контур за допомогою функції бібліотеки OpenCV findContours, результат наведено на рис 3.16 (контур та центральні лінії додано до вихідного зображення, кольорова гама BGR) [3]. Далі залишилось лише знайти центр контуру для чого до координати x крайньої лівої точки контуру додаємо координату правої крайньої точки, та поділимо отриману суму на 2, отриманий результат є координатою x для центральної точки, для координати y проводимо ті самі дії, але з крайньою верхньою та нижньою точками, результат наведено на рисунку 3

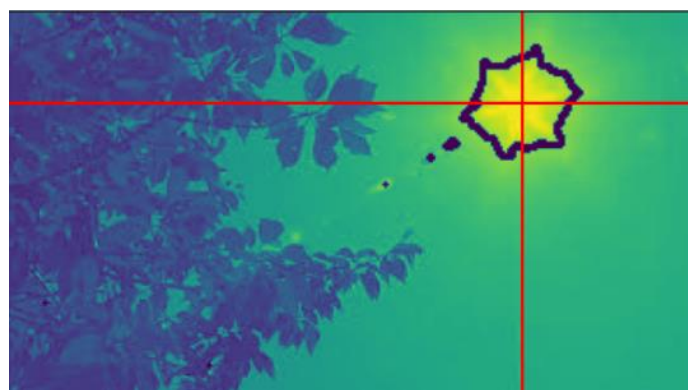


Рисунок 3 – вихідне зображення після обробки за допомогою машинного зору

Можливість моніторингу можливо реалізувати за допомогою ресурсу thingspeak з можливістю доступу для інших користувачів, або локально на комп'ютері користувача.

ВИСНОВОК

Розробка трекінгової системи для сонячних панелей із використанням Raspberry Pi та відеокамери є сучасним і ефективним підходом до підвищення продуктивності відновлюваної енергетики. Завдяки поєднанню алгоритмів комп'ютерного зору, гнучкого програмного забезпечення та точного механічного керування можна досягти високої ефективності роботи сонячних установок. Використання відеокамери як основного сенсора дозволяє не лише точно відстежувати положення сонця, але й забезпечувати наочність для користувача. Це спрощує моніторинг і діагностику системи, зокрема у випадках несправностей. Хоча система потребує ретельного налаштування і має свої обмеження, вона пропонує значні переваги в довгостроковій перспективі. Завдяки своїй модульності, така система може бути адаптована до різних умов і масштабів використання, роблячи її ідеальним рішенням як для індивідуальних, так і для промислових потреб.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Теличко Р., Щербань А., «Актуальність використання трекінгових систем для альтернативних джерел електричної енергії», XVI Науково-практична конференція студентів і молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», секція 5.
- [2] Н. Jose A. Carballo, Javier Bonilla, Manuel Berenguel, Jesús Fernández-Reche, Ginés García «New approach for solar tracking systems based on computer vision, low cost hardware and deep learning», Renewable Energy Vol. 133, 2019, Pp. 1158-1166
- [3] Брадски Г., Келлер А. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media, 2008. 576 с.

Наук. керівник –к.т.н., Щербань А.П.

УДК 16.12-073

*Р.Г. Тимчик, аспірант гр. ПІ-41ф, д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНСТРУМЕНТУ

Анотація. В статті розглянуто методи контролю зносу ріжучого інструменту, методи підналаштування та автоматичного регулювання процесу різання. Доведено актуальність теми підвищення точності ріжучого інструменту для зменшення похибок металообробки деталей. Розглянуто складові сумарної похибки процесу металообробки деталей.

Ключові слова: інструмент, параметри процесу обробки, швидкість зносу, точність обробки, підналаштування ріжучого інструменту.

ВСТУП

Покращення якості виробів і прискорення темпів зростання ефективності виробництва, безперервне підвищення вимог до надійності та довговічності машин потребує підвищення точності виготовлення виробів з різних матеріалів. Під час токарної обробки деталей ці завдання набувають особливої значущості, оскільки часто цей процес є завершальним і визначає експлуатаційні характеристики виробів.

Традиційне вирішення поставленого завдання шляхом використання більш досконалого технологічного обладнання та інструменту не завжди призводить до бажаних результатів, оскільки пов'язане зі значними витратами.

Такий стан питання вимагає пошуку нових шляхів вирішення проблеми, пов'язаної з підвищення точності виготовлення деталей, особливо на етапі відродження промисловості в Україні.

При розгляді процесів обробки деталей є особливості, а саме:

- багатofакторність процесу, тобто наявність великої кількості можливих керуючих впливів, регульованих змінних збурюючих впливів, а також вихідних параметрів процесу;
- нелінійність більшості експериментальних характеристик зв'язку між окремими вхідними та вихідними змінними процесу і відсутність між ними чітких аналітичних залежностей;
- нестационарність статичних і динамічних характеристик процесу;
- високий рівень завад при вимірюванні деяких змінних;
- некерованість ряду параметрів через відсутність надійних конструкцій відповідних вимірювальних пристроїв;
- наявність технологічних і технічних обмежень на керуючі впливи.

Перераховані особливості створюють ряд труднощів при розробці систем автоматичного управління (САУ) процесом різання та алгоритмів їх роботи. Використання САУ для забезпечення заданої точності обробки не дозволяє одночасно підвищити продуктивність обладнання та якості виготовленої продукції.

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МЕТАЛООБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Вивченню точності обробки на токарних верстатах присвячено багато робіт, і особливо на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПУ), де

автоматичне регулювання процесу обробки за фактичними значеннями його параметрів забезпечує краще використання можливостей верстата та інструменту, спрощує керуючі програми, знижує витрати на програмування та саму обробку загалом.

Дослідження похибок обробки дозволяє обґрунтовано призначити параметр управління та вибрати структуру САУ. Таким чином, вивчення складових сумарної похибки чистової обробки на токарних верстатах з ЧПУ є актуальним.

Сумарна похибка Δ механічної обробки є функцією пружних деформацій і зміщень Δ_y у технологічній системі, похибок від розмірного зносу інструменту Δ_i , похибок установки ε , налаштування інструмента на розмір Δ_n , суми похибок від теплових деформацій Δ_t . Для отримання діаметральних розмірів маємо:

$$\Delta = 2 \sqrt{(K1 \times \Delta_y)^2 + (K2 \times \Delta_i)^2 + (K3 \times \Delta_n)^2 + (K4 \times \Delta_t)^2}$$

де: $K1 = K2 = 1.0$; $K3 = K4 = 1.73$ — коефіцієнти, що характеризують відхилення фактичного розподілу випадкової похибки від теоретичного значення.

Похибка налаштування інструменту на розмір деталі, яка обробляється, використовується для оцінки або прогнозування точності обробки та розраховується залежно від прийнятих методів налаштування інструменту на розмір (його позиціонування).

Похибка Δ_n налаштування включає в себе похибку Δ_p регулювання положення інструменту, похибку вимірювання Δ_m та похибку миттєвого розсіювання розмірів Δ_s через випадкові причини (нерівномірність припуску і твердості заготовок, нестабільність процесу різання, тощо).

$$\Delta = k \sqrt{\Delta_m^2 + \Delta_p^2 + \Delta_s^2}$$

де: k — коефіцієнт, що враховує відхилення щодо закону розподілу від нормального $k = 1 \dots 1.2$.

Похибки Δ_p — регулювання і Δ_s — розсіювання повністю визначаються типом обраного металорізального обладнання, його технічними характеристиками та способом налаштування інструменту.

Одним із завдань налаштування є розмірне налаштування інструменту — процес досягнення потрібної точності положення вершини ріжучого інструменту. Усі методи налаштування інструментів на розмір деталі яка обробляється поділяються на статичні та динамічні. До перших належать ті, при яких інструмент встановлюється на настроювальний розмір, визначений на неробочому верстаті. Для статичного налаштування використовуються лімби, лінійки, індикатори, кінцеві міри, еталони, установи, спеціальні пристосування, датчики розміру, тощо. Динамічне налаштування передбачає досягнення настроювального розміру на основі результатів замірів у процесі обробки, оскільки теплові деформації та зношування елементів технологічної системи мають істотний вплив на похибку обробки, особливо під час чистових операцій.

При ручному способі момент підналаштування верстатник визначає за

результатами періодичного вимірювання оброблюваних деталей. При автоматичному налаштуванні застосовується відносний метод досягнення точності заданого настроювального розміру виробу. За цим методом статичний настроювальний розмір порівнюється з заданим, встановленим при первинному налаштуванні технологічної системи.

За результатами порівняння визначається величина відхилення, і настроювальний розмір встановлюється за допомогою спеціального механізму, який впливає на вибрану компенсуючу ланку протягом обробки всієї партії даного типорозміру.

Одним зі способів скорочення часу налаштування є автоматичний облік фактичних розмірів інструментів у програмі керування, а саме застосовують спеціальний прилад, щупи якого торкаються ріжучої кромки інструменту в радіальному та осьовому напрямках, цифрові індикатори вказують фактичні розміри інструменту в двох напрямках і оператор корегує програму обробки.

При використанні приладу з верстатом і системою ЧПУ з мікроконтролером, інформація від електронної частини приладу безпосередньо надходить у пам'ять системи ЧПУ, звідки автоматично здійснюється корекція програми під час використання інструменту. Скорочується час налаштування інструментів при автоматичному способі внесення корекцій у програму обробки.

Відомі розробки інших приладів, які реалізують прямий метод вимірювання на металорізальних верстатах, з використанням контактних та безконтактних датчиків положення ріжучих кромки інструменту, наприклад, пневматичних, гідравлічних, ємнісних тощо. Однак їх точність не перевищує 10 мкм.

Одним із недоліків цих систем є малий динамічний діапазон вимірювання положення ріжучої кромки (не більше 0,1 мм), що потребує попередньої установки ріжучого інструменту.

Досвід експлуатації верстатів з ЧПУ у виробництві свідчить про економічну ефективність налаштування інструментів поза верстатом на спеціальних пристосуваннях. В результаті аналізу робіт [1, 2, 3] систематизовано витрати на підналаштування інструменту, представлено в табл.1.

Таблиця 1. Витрати на підналаштування інструменту

№ П/П	Спосіб внесення корекції в положення інструмента	Похибка			Тривалість	
		мін.	серед.	один інстр.	за день 4-6 інст.	За рік 200 дн.
		мкм	мкм	мкм	хвил.	годин
1	Ручний (під час контролю розміру інструмента на верстаті)	5	15	5	120	400
2	Те саме (під час зміни інструмента поза верстатом)	10	20	1	24	80
3	Автоматичний (із використанням контактних щупів)	1	5	0,25	6	20
4	Напівавтоматичний (із використанням лазерних пристроїв)	1	5	1	24	86
5	Автоматичний (із використанням лазерних пристроїв)	0,5	2	0,05	1-2	4

Таким чином, з підвищенням точності налаштування інструменту скорочується машинний час за рахунок зменшення: холостих переміщень тримача різців і «зон безпеки» — відстаней, передбачених програмістом для забезпечення безпечного підходу інструменту до оброблюваної поверхні та його врізання.

Значним резервом підвищення продуктивності при обробці на верстатах з ЧПУ є скорочення простоїв під час їх підналаштування. Сума простоїв на налаштування кожного з інструментів займає значну частину в загальній тривалості переналагодження.

ВИСНОВОК

Проведено порівняльний аналіз існуючих систем автоматичного управління процесом різання, а також визначено області застосування. Розглянуто низку технологічних параметрів та характеристик процесу точіння, які безпосередньо впливають на точність виконання розмірів деталей.

Аналіз дослідження літературних джерел дозволяють зробити наступні висновки:

- для сучасних токарних верстатів з ЧПУ, незалежно від їх конструкції, необхідно точно визначати настроювальний розмір інструменту, оскільки від точності позиціонування інструменту залежить точність металообробки;
- суттєвим є вдосконалення методів налаштування та підналаштування інструменту при експлуатації верстатів з ЧПУ, ефективність яких значною мірою залежить від точності і тривалості цих операцій;
- якість обробленої поверхні та її точність залежать від ступеня досконалості пристроїв і методів налаштування інструменту;
- провадження нових високопродуктивних і точних методів підналаштування інструменту дозволить значно скоротити обсяг ручної праці верстатників, операторів і налаштовувачів обладнання, знизити непродуктивні витрати часу та підвищити точність обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Катаєва, М. О. Методи вимірювання геометричних параметрів авіаційних деталей: автореф. дис.. канд. техн. наук: спец. 05.11.01 «Прилади та методи вимірювання механічних величин» / Катаєва Марія Олександрівна; КПІ. К., — 2017. — 20 с.
- [2] Шевченко, О.В. Підвищення точності обробки на токарних автоматизованих верстатах шляхом мікрорегулювання положення різця / О. В. Шевченко, Т. Г. Гримуд // *Вісник НТУУ "КПІ". Машинобудування*. — 2010. — № 59. — с. 59-64.
- [3] Алтухов, В. М., Руднев, Є. С. Дослідження теплових явищ при різанні важкооброблюваних матеріалів в умовах точіння / В. М. Алтухов, Є. С. Руднев. // *Наукові вісті Далівського університету*. — 2022. — № 23. — 8 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.

УДК 621.317.725

А.О. Шклярський, студент гр. ПІ-31мп, д.т.н., проф. Туз Ю.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ШИРОКОСМУГОВОГО МІЛІВОЛЬТМЕТРА ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ

Анотація. Представлені матеріали, що описують склад та принципи функціонування широкосмугового мілівольтметра підвищеної точності.

Ключові слова: Широкасмуговий мілівольтметр, вимірювальні прилади, атенюатор, операційний підсилювач, мікроконтролер, підвищена точність.

ВСТУП

Широкасмугові мілівольтметри є важливими інструментами для точного вимірювання малих рівнів змінної напруги в широкому частотному діапазоні.. Головними завданнями під час розробки таких мілівольтметрів є забезпечення точності вимірювань, мінімізація похибок і стабільність роботи при різних зовнішніх умовах.

Метою цієї статті є дослідження та опис елементної бази широкосмугового мілівольтметра підвищеної точності.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Успішна розробка широкосмугового мілівольтметра підвищеної точності вимагає ретельного підходу до проектування його структурної схеми, що є основою функціонування всього приладу. Правильна архітектура системи гарантує точність, надійність та швидкість обробки сигналів у широкому діапазоні частот.

Структурна схема широкосмугового мілівольтметра підвищеної точності зображена на рисунку 1.

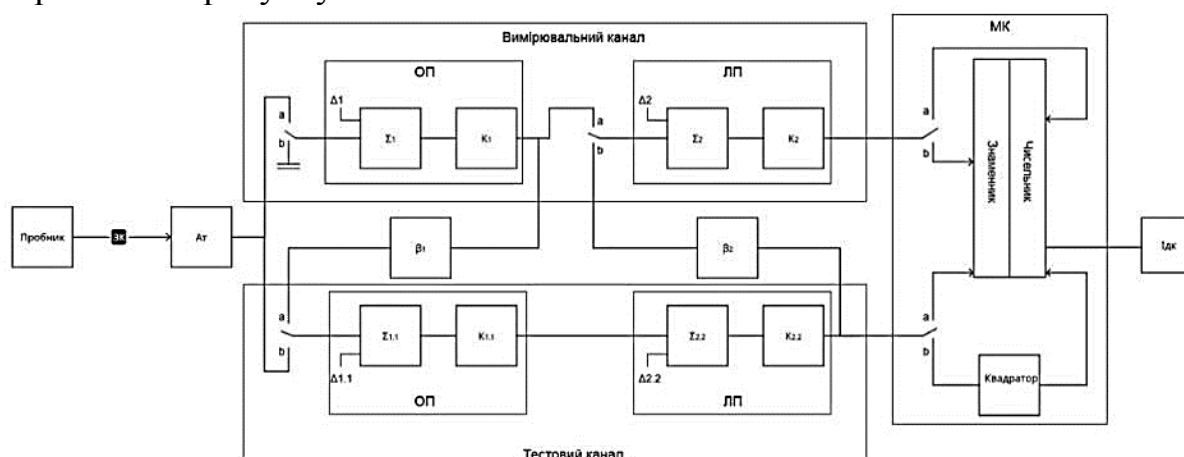


Рисунок 1. Структурна схема широкосмугового мілівольтметра підвищеної точності : ЗК – з'єднувальний кабель; Ат – атенюатор; ОП – операційний підсилювач; ЛП – лінійний перетворювач; МК – мікроконтролер; Ідк – індикатор; Δ – адитивна похибка; Σ – суматор; β – умова налагодження (зворотна ланка)

Принцип роботи: Вхідний сигнал подається на атенюатор за допомогою пробника, де він послаблюється до потрібного рівня. Послаблений сигнал розділяється на два канали: тестовий та вимірювальний. Прилад працює у двох

тактах а і b, які перемикаються за допомогою перемикачів.

Вхідна напруга перетворюється у кодові еквіваленти N_1, N_2, N_3, N_4 чотирма шляхами, які поступають на мікроконтролер та запам'ятовуються.

Кодовий елемент N_1 отримують при перетворенні вхідної напруги операційним підсилювачем K_1 і лінійним перетворювачем K_2 .

Кодовий елемент N_2 отримують при перетворенні вхідної напруги операційним підсилювачем K_1 , зворотною ланкою β_1 , операційним підсилювачем $K_{1.1}$ і лінійним перетворювачем $K_{2.2}$.

Кодовий елемент N_3 отримують при перетворенні вхідної напруги операційним підсилювачем $K_{1.1}$ і лінійним перетворювачем $K_{2.2}$.

Кодовий елемент N_4 отримують при перетворенні вхідної напруги операційним підсилювачем $K_{1.1}$, лінійним перетворювачем $K_{2.2}$, зворотною ланкою β_2 , лінійним перетворювачем K_2 .

Мікроконтролер проводить обчислення вихідних результатів вимірювання у вигляді рівняння:

$$N = \frac{N_1 \cdot (N_3)^2}{N_2 \cdot N_4}$$

де

$$\begin{aligned} N_1 &= ((x + \Delta_1) \cdot K_1 + \Delta_2) \cdot K_2 \\ N_2 &= (((x + \Delta_1) \cdot K_1 \cdot \beta_1 + \Delta_{1.1}) \cdot K_{1.1} + \Delta_{2.2}) \cdot K_{2.2} \\ N_3 &= ((x + \Delta_{1.1}) \cdot K_{1.1} + \Delta_{2.2}) \cdot K_{2.2} \\ N_4 &= (((x + \Delta_{1.1}) \cdot K_{1.1} + \Delta_{2.2}) \cdot K_{2.2} \cdot \beta_2 + \Delta_2) \cdot K_2 \end{aligned}$$

У тестовому каналі сигнал проходить через підсилювач та лінійний перетворювач, який перетворює змінну напругу в постійну. Цей сигнал використовується для калібрування та корегування вимірювального каналу. У вимірювальному каналі сигнал також проходить через підсилювач та лінійний перетворювач. Вихідні сигнали з обох каналів подаються на обчислювальний пристрій. Обчислювальний пристрій порівнює сигнали з тестового та вимірювального каналів, визначає коефіцієнт корекції та виконує корегування сигналу з вимірювального каналу. Скореговане значення напруги перетворюється в цифровий код та відображається на цифровому індикаторі [1].

ПІДХІД ДО ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ

Вибір компонентів базувався на аналізі вимог до точності, швидкодії, сумісності та надійності. Ключовими факторами були:

Технічні характеристики: Кожен компонент повинен відповідати або перевищувати вимоги щодо частотного діапазону, точності та інших критичних параметрів.

Сумісність: Взаємодія між компонентами має бути оптимальною, без конфліктів по інтерфейсах та рівнях сигналів.

Надійність та стабільність: Використання компонентів з високою якістю та стабільними характеристиками зменшує похибки та підвищує довговічність приладу.

Нижче наведено детальний опис кожного вибраного компонента з основними технічними характеристиками, що обґрунтовують їх використання в мілівольтметрі.

1) Атенюатор *Mini-Circuits RUDAT-13G-60*

Атенюатор RUDAT-13G-60 від Mini-Circuits є програмованим пристроєм, що забезпечує регулювання рівня сигналу з високою точністю в широкому діапазоні частот. Його використання дозволяє адаптувати прилад до різних умов вимірювань та забезпечити оптимальний діапазон вхідних напруг для підсилювача та АЦП. Основні характеристики якого наведені в таблиці 1 [2].

Таблиця 1. Характеристики Атенюатора Mini-Circuits RUDAT-13G-60

<i>Діапазон частот</i>	DC - 13 ГГц
<i>Діапазон ослаблення</i>	0 - 60 дБ (крок 0.5 дБ)
<i>Вхідний та вихідний опір</i>	50 Ом
<i>Керування</i>	SPI або USB
<i>Роз'єми</i>	SMA (жіночі)
<i>Робоча напруга</i>	+5 В
<i>Точність ослаблення</i>	±0.5 дБ

Обґрунтування вибору:

Широкий діапазон частот забезпечує роботу приладу в широкосмугових застосуваннях.

Висока точність та стабільність ослаблення зменшує похибки вимірювань.

Програмне керування через SPI дозволяє інтегрувати атенюатор з мікроконтролером для автоматизації налаштувань.

2) Операційний підсилювач *Texas Instruments THS3091*

THS3091 — високошвидкісний операційний підсилювач з широкою смугою пропускання та високим коефіцієнтом підсилення. Він підсилює ослаблений атенюатором сигнал до рівня, необхідного для точного аналого-цифрового перетворення. Основні характеристики якого наведені в таблиці 2 [3].

Таблиця 2. Характеристики операційного підсилювача THS3091

<i>Смуга пропускання</i>	190 МГц
<i>Швидкість наростання</i>	7300 В/мкс
<i>Напруга зміщення входу</i>	±1.2 мВ
<i>Вхідний опір</i>	1.1 МОм
<i>Живлення</i>	±5 В до ±15 В
<i>Шум напруги на вході</i>	1.9 нВ/√Гц

Обґрунтування вибору:

Висока швидкодія та широка смуга пропускання дозволяють точно відтворювати високочастотні компоненти сигналу.

Низький рівень шуму підвищує точність вимірювань малих напруг.

Сумісність з іншими компонентами завдяки широкому діапазону напруг живлення.

3) Мікроконтролер *STMicroelectronics STM32H743ZI*

STM32H743ZI — високопродуктивний мікроконтролер на базі ядра ARM Cortex-M7, який обробляє дані з АЦП, керує атенюатором, дисплеєм та реалізує алгоритми мультиплікативної корекції. Основні характеристики якого наведені в таблиці 3 [4].

Таблиця 3. Характеристики мікроконтролера STM32H743ZI

<i>Ядро</i>	ARM Cortex-M7
<i>Тактова частота</i>	До 480 МГц
<i>Flash пам'ять</i>	2 МБ
<i>SRAM</i>	1 МБ
<i>Інтерфейси</i>	6x SPI, 4x I2C, 8x USART
<i>LCD-TFT контролер</i>	Є
<i>Живлення</i>	1.7 В – 3.6 В

Обґрунтування вибору:

Висока продуктивність забезпечує швидку обробку великих обсягів даних.

Широкий набір інтерфейсів дозволяє підключити всі необхідні периферійні пристрої.

Вбудований LCD-TFT контролер спрощує підключення дисплея та створення графічного інтерфейсу.

ВИСНОВОК

У даній статті було проведено аналіз та обґрунтовано вибір компонентів для розробки широкосмугового мілівольтметра підвищеної точності на основі доступної за критерієм «ціна-якість» елементної бази. Вибрані компоненти забезпечують: Широкий частотний діапазон, високу точність та стабільність вимірювань, гнучкість налаштувань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Туз Ю. М. Автоматизація аналізу вимірювальних пристроїв курс лекцій : навч. посіб. / Юліан Михайлович Туз, Юрій Сергійович Шумков, Олег Васильович Козир. – Київ : [б. в.], 2022. – 318 с.
- [2] 60 dB Programmable Attenuator, 10 MHz - 13 GHz | RUDAT-13G-60 | Mini-Circuits [Електронний ресурс] // Mini-Circuits - Global Leader of RF and Microwave Components. – Режим доступу: <https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=RUDAT-13G-60> (дата звернення: 11.11.2024). – Назва з екрана.
- [3] THS3091 [Електронний ресурс] // Analog | Embedded processing | Semiconductor company | TI.com. – Режим доступу: <https://www.ti.com/product/THS3091> (дата звернення: 11.11.2024). – Назва з екрана.
- [4] STM32H743ZI [Електронний ресурс] // st.com - Electronic Parts Datasheet Search. – Режим доступу: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32h743zi.html> (дата звернення: 11.11.2024). – Назва з екрана.

УДК 621.317.725

*А.О. Шклярський, студент гр. ПІ-31мп, д.т.н., проф. Туз Ю.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МІЛІВОЛЬТМЕТРІВ ТА ВИМІРЮВАЧІВ СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ

Анотація. Представлені матеріали, що описують стан існуючих сучасних мілівольтметрів та вимірювачі середньоквадратичного значення.

Ключові слова: Вимірювач середньоквадратичного значення, мілівольтметр, вимірювальні прилади, СКЗ, RMS.

ВСТУП

У сучасному світі електроніки та телекомунікацій вимірювання малих напруг набуває все більшого значення. Мілівольтметри та вимірювачі середньоквадратичного значення (True RMS) є ключовими інструментами для інженерів і науковців у галузях радіотехніки, електроніки та електротехніки. Вони дозволяють точно вимірювати низькі рівні сигналів у широкому діапазоні частот, що є критичним для аналізу та діагностики електронних систем.

Проте багато існуючих мілівольтметрів мають обмеження щодо частотного діапазону, точності та стабільності вимірювань. Це створює потребу в розробці нових приладів з покращеними характеристиками.

Метою статті є проведення аналізу сучасних мілівольтметрів, зокрема моделей В3-59, В3-48 та високочастотного вимірювача середньоквадратичного значення Boonton 9240.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Для аналізу існуючих мілівольтметрів та вимірювачів середньоквадратичного значення найкраще застосовувати систематичний підхід. Він передбачає визначення мети дослідження та збір детальної інформації про прилади, включаючи їх технічні характеристики, такі як діапазон вимірюваних напруг і частот, похибка вимірювань, вхідний опір та ємність. Важливо оцінити функціональні можливості приладів, їхню відповідність сучасним вимогам, зручність використання, габарити, масу та енергоефективність. Також слід враховувати наявність цифрових інтерфейсів для інтеграції в автоматизовані системи та можливість автономного живлення. Аналіз вартості та доступності приладів на ринку допоможе зрозуміти їхню привабливість для різних користувачів.

Сучасні мілівольтметри забезпечують широкий діапазон вимірювань напруги та частот із високою точністю завдяки вдосконаленим схемотехнічним рішенням. Основні параметри, за якими оцінюють мілівольтметри, включають частотний діапазон, точність вимірювання, чутливість, шумові характеристики та можливості автоматизації[1]. Нижче представлено аналіз кількох популярних моделей мілівольтметрів.

1) Мілівольтметр В3-59

В3-59 - універсальний електронний мілівольтметр, призначений для вимірювання змінної напруги в широкому діапазоні частот. Прилад широко

використовувався в різних галузях промисловості та наукових дослідженнях. Технічні характеристики ВЗ-59 наведені у таблиці 1 [2].

Таблиця 1. Характеристики мілівольтметра ВЗ-59

<i>Діапазон вимірюваних напруг</i>	0,265 мВ – 300 В; з роздільником до 1000 В
<i>Діапазон частот</i>	10 Гц – 100 МГц
<i>Межі основної похибки</i>	± (0,4 – 2,5) %
<i>Вхідний опір</i>	20 МОм (з пробником)
<i>Вхідна ємність</i>	8 пФ (з пробником); 4 пФ (з пробником і дільником)
<i>Живлення</i>	220 В ±22 В, 50 ±0,5 Гц або 220 В ±11 В, 400 +28 -12 Гц
<i>Споживана потужність</i>	70 В·А
<i>Маса</i>	12 кг
<i>Габарити</i>	488 × 133 × 355 мм

Недоліками ВЗ-59 є велика маса та габарити, що робить його незручним для переносного використання та обмежує мобільність. Високе споживання енергії вимагає стабільного джерела живлення, що не підходить для автономного використання. Аналогова індикація ускладнює точне зчитування результатів та інтеграцію з комп'ютерними системами. Відсутність можливості збереження даних або передачі їх на зовнішні пристрої обмежує функціональність приладу.

2) Мілівольтметр ВЗ-48

ВЗ-48 - аналоговий мілівольтметр, призначений для вимірювання малих напруг у широкому діапазоні частот. Він широко застосовувався для вимірювань в аудіо- та радіочастотних діапазонах. Основні технічні характеристики наведені в таблиці 2 [3].

Таблиця 2. Характеристики Мілівольтметр ВЗ-48

<i>Діапазон частот</i>	10 Гц – 50 МГц
<i>Діапазон вимірюваних напруг</i>	0,3 мВ – 300 В
<i>Межі основної похибки</i>	±2,5 %
<i>Вхідний опір / ємність</i>	20 МОм / 6 пФ (для 1 – 300 мВ)
<i>Живлення</i>	220 В, 50 Гц
<i>Споживана потужність</i>	30 В·А
<i>Маса</i>	4,5 кг
<i>Габарити</i>	155 × 205 × 297 мм

Недоліки: Обмежений верхній частотний межа в 50 МГц може бути недостатнім для сучасних високочастотних застосувань. Аналогова індикація ускладнює точне зчитування результатів та документування даних. Відсутність цифрових інтерфейсів перешкоджає підключенню до комп'ютера або інших цифрових пристроїв для автоматизації вимірювань. Маса та розміри приладу можуть бути незручними для переносного використання.

3) Boonton 9240

Boonton 9240 - сучасний високочастотний вимірювач середньо-квадратичного значення (True RMS), призначений для точного вимірювання змінної напруги в широкому частотному діапазоні. Він використовується для вимірювань у

радіочастотних та мікрохвильових системах. Основні технічні характеристики наведені в таблиці 3[4].

Таблиця 3. Характеристики Boonton 9240

<i>Діапазон частот</i>	10 Гц – 1,2 ГГц
<i>Діапазон вимірюваних напруг</i>	200 мкВ – 300 В
<i>Межі основної похибки</i>	±1 %
<i>Вхідна ємність</i>	Менше 1,5 пФ
<i>Живлення</i>	90 – 264 В АС, 50/60 Гц
<i>Споживана потужність</i>	25 В·А
<i>Маса</i>	2,3 кг
<i>Габарити</i>	210 × 89 × 343 мм

Недоліками Boonton 9240 є висока вартість, що може бути недоступною для багатьох навчальних та невеликих лабораторій. Прилад може бути складним у використанні без належної підготовки. Вхідний опір та ємність можуть не підходити для всіх типів вимірювань, особливо якщо потрібен високий вхідний опір. Хоча він більш компактний, все ж не є кишеньковим приладом, що обмежує його мобільність.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведений аналіз показав, що існуючі мілівольтметри мають ряд недоліків, які обмежують їх застосування в сучасних умовах. Обмеження частотного діапазону, як у випадку з ВЗ-48, роблять прилад непридатним для вимірювань високочастотних сигналів сучасних телекомунікаційних систем. Великі габарити та маса, характерні для ВЗ-59, ускладнюють переносне використання та встановлення в обмежених просторах. Відсутність цифрової індикації та інтерфейсів у старіших моделей перешкоджає інтеграції в автоматизовані системи та знижує точність зчитування даних.

Сучасні прилади, такі як Boonton 9240, хоча й мають покращені характеристики, часто є недоступними через високу вартість та складність використання. Вони потребують спеціальної підготовки персоналу та можуть бути непрактичними для невеликих лабораторій або навчальних закладів. Крім того, їх вхідні параметри не завжди підходять для вимірювань в електронних схемах з високим вхідним опором.

У країнах пострадянського простору, включаючи Україну, ситуація з розробкою широкосмугових мілівольтметрів залишається складною. Історично, ці прилади проектувалися переважно у військових та промислових установах, таких як радіотехнічні заводи та науково-дослідні інститути. Багато з цих розробок були засновані на морально застарілих технологіях, що суттєво обмежує їхню точність і функціональність у сучасних застосуваннях. Лише деякі підприємства та лабораторії продовжують працювати над вдосконаленням таких приладів, проте їхні розробки здебільшого зосереджені на вузькому сегменті або виконуються за замовленням.

У сучасній Україні розробка мілівольтметрів значною мірою залежить від ентузіазму окремих науковців та інженерів. Основними центрами інновацій є

технічні університети та окремі стартапи, які впроваджують новітні підходи до проєктування вимірювальних пристроїв. Однак брак фінансування та доступу до передових компонентів значно обмежує масштаб таких розробок.

ВИСНОВКИ

Аналіз існуючих мілівольтметрів, зокрема ВЗ-59, ВЗ-48 та високочастотного вимірювача Boonton 9240, виявив низку недоліків, які обмежують їх використання в сучасних умовах. Обмежений частотний діапазон, відсутність цифрових інтерфейсів, великі габарити та маса, а також висока вартість і складність використання сучасних приладів роблять їх менш придатними для сучасних задач.

Це створює потребу в розробці нового мілівольтметра, який би поєднував високу точність, широкий частотний діапазон, компактність та доступну ціну. Розробка широкосмугового мілівольтметра підвищеної точності є актуальною задачею, яка може внести значний внесок у розвиток вимірювальної техніки.

Стан розробок в Україні та країнах пострадянського простору свідчить про наявність потенціалу для таких проєктів. Інноваційні підходи, співпраця з міжнародними партнерами та розвиток стартапів можуть стати ключовими факторами успіху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Туз Ю. М. Автоматизація аналізу вимірювальних пристроїв курс лекцій : навч. посіб. / Юліан Михайлович Туз, Юрій Сергійович Шумков, Олег Васильович Козир. – Київ : [б. в.], 2022. – 318 с.
- [2] Вольтметр змінного струму ВЗ-59: Вимірювачі від "ЦЕЛЬС-ПРИЛАД" [Електронний ресурс] // "ЦЕЛЬС-ПРИЛАД" - контакти, товари, послуги, ціни. – Режим доступу: <https://cels-pribor.com.ua/ua/p285505017-voltmetr-peremennogo-toka.html> (дата звернення: 20.11.2024). – Назва з екрана.
- [3] Вольтметр змінного струму ВЗ-48А: Вимірювачі від "ЦЕЛЬС-ПРИЛАД" [Електронний ресурс] // "ЦЕЛЬС-ПРИЛАД" - контакти, товари, послуги, ціни. – Режим доступу: <https://cels-pribor.com.ua/ua/p285505011-voltmetr-peremennogo-toka.html> (дата звернення: 20.11.2024). – Назва з екрана.
- [4] Радіочастотний вольтметр Boonton сериї 9240 - Devices [Електронний ресурс] // Харків Прилад. – Режим доступу: [https://pribory.com.ua/радиочастотный-вольтметр-boonton-сериї-9240-\(9241-и-9242\)-3057-1-3057](https://pribory.com.ua/радиочастотный-вольтметр-boonton-сериї-9240-(9241-и-9242)-3057-1-3057) (дата звернення: 20.11.2024). – Назва з екрана.

УДК 621.317

*К.А. Шолудько, аспірант гр. ПІ-41ф, д.т.н., проф. Здоренко В.Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНІ ВОДИ

Анотація. У роботі представлено метод вимірювання забруднення поверхні водного середовища за допомогою ультразвукових хвиль. Цей метод забезпечує достатньо точний екологічний моніторинг забруднення рідких середовищ. Розроблена інформаційно-вимірювальна система дозволяє проводити вимірювання безконтактним способом, що робить її зручною для практичного використання.

Ключові слова: ультразвук, забруднення води, плівка олії, інформаційно-вимірювальні технології.

ВСТУП

Забруднення водних ресурсів є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності, яка безпосередньо впливає на стан навколишнього середовища та якість життя суспільства. Неконтрольовані промислові викиди маслянистих речовин у водойми створюють серйозну загрозу для водних екосистем, порушуючи їх баланс та спричиняючи деградацію природного середовища. Зменшення доступності чистої води та погіршення її якості обмежують можливості її використання у побутових, промислових і сільськогосподарських цілях [1].

Контроль і моніторинг таких забруднень стають ключовими завданнями у сфері охорони природи. Зокрема, науковці активно працюють над розробкою ефективних методів визначення параметрів забруднення, які дозволяють оперативно оцінювати стан водойм. Серед сучасних підходів найбільш перспективним є використання ультразвукових хвиль, що базується на аналізі їх відбиття та проходження через різні середовища.

Цей метод має низку переваг, включно з безконтактністю та можливістю автоматизації процесу. Ультразвуковий підхід дозволяє точно вимірювати товщину плівки олії на поверхні води, забезпечуючи ефективний інструмент для екологічного моніторингу. Розробка і впровадження таких технологій не лише сприятимуть охороні довкілля, а й допоможуть зменшити витрати на усунення наслідків забруднень [2-3].

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є обґрунтування застосування методу вимірювання забруднення поверхні водного середовища з використанням ультразвукових хвиль.

Реалізація методу передбачає створення системи, здатної працювати у реальних умовах, забезпечуючи автоматизацію процесу вимірювань. Такий підхід сприятиме мінімізації впливу людського фактора. Впровадження розробленої методики дозволить своєчасно реагувати на викиди забруднень, сприяючи охороні навколишнього середовища та покращенню якості водних ресурсів.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метод ґрунтується на визначенні коефіцієнта відбиття ультразвукових хвиль на межі розділу "олія-вода". Встановлено за допомогою моделювання

залежність амплітуд від товщини плівки. Для аналізу використовувались акустичні перетворювачі з частотою 150 кГц.

Були проведені розрахунки комплексних коефіцієнтів проходження і відбиття хвиль та їх модулів від товщини шару плівки олії.

Вираз комплексного коефіцієнта відбиття $|V_\theta|$ представляється як:

$$V_\theta = \frac{C_\theta \cdot D_\theta + E_\theta \cdot F_\theta + j(D_\theta \cdot E_\theta - C_\theta \cdot F_\theta)}{D_\theta^2 + F_\theta^2}, \quad V_\theta = \frac{C_\theta \cdot D_\theta + E_\theta \cdot F_\theta}{D_\theta^2 + F_\theta^2} + j \frac{D_\theta \cdot E_\theta - C_\theta \cdot F_\theta}{D_\theta^2 + F_\theta^2},$$

а сам модуль комплексного коефіцієнта відбиття $|V_\theta|$ можна тоді представити як:

$$|V_\theta| = \sqrt{\frac{(C_\theta \cdot D_\theta + E_\theta \cdot F_\theta)^2 + (D_\theta \cdot E_\theta - C_\theta \cdot F_\theta)^2}{(D_\theta^2 + F_\theta^2)^2}}.$$

Отримано наступний вираз для комплексного коефіцієнта проходження хвилі під кутом до вимірювальної комірки:

$$W_\theta = \frac{D_\theta(D_\theta - C_\theta) + F_\theta(F_\theta - E_\theta)}{D_\theta^2 + F_\theta^2} - j \frac{D_\theta \cdot E_\theta - C_\theta \cdot F_\theta}{D_\theta^2 + F_\theta^2},$$

Модуль комплексного коефіцієнта проходження $|W_\theta|$ можна представити тоді так:

$$|W_\theta| = \sqrt{\frac{(D_\theta(D_\theta - C_\theta) + F_\theta(F_\theta - E_\theta))^2 + (D_\theta \cdot E_\theta - C_\theta \cdot F_\theta)^2}{(D_\theta^2 + F_\theta^2)^2}}.$$

В якості наочної візуалізації приведено графік залежність різниці модулів комплексних коефіцієнтів відбиття ультразвукових хвиль $\Delta|V|$ від товщини плівки олії h_1 та h_2 .

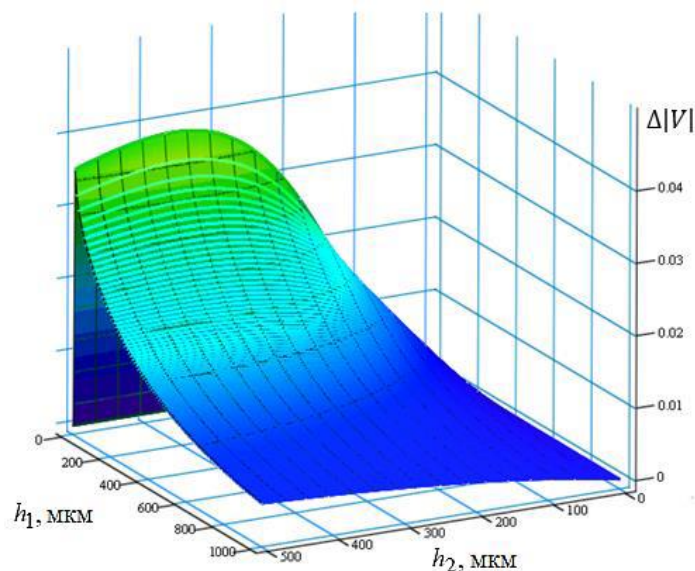


Рисунок 1. Різниця $\Delta|V|$ коефіцієнтів відбиття хвиль $|V|$, $|V_0|$

Тривимірний графік ілюструє зміну коефіцієнтів у просторі, де вісь x відповідає товщині плівки h_1 , вісь y — товщині h_2 , а вісь z демонструє значення різниці модулів $\Delta|V|$.

Графік має похилий характер: при зростанні товщини шарів плівки значення різниці модулів комплексних коефіцієнтів відбиття хвиль поступово зменшується, що свідчить про згладжування ефекту переходу хвиль через межу

"олія-вода". Найбільша різниця спостерігається при тонких шарах плівки (до 100 мкм), де хвилі зазнають найбільшого впливу неоднорідності меж розділу середовищ.

Ця залежність підтверджує високу чутливість методу до змін товщини олійної плівки, що робить його ефективним для точного визначення параметрів забруднення.

ВИСНОВКИ

В роботі була обґрунтована можливість застосування методу вимірювання забруднення поверхні водного середовища з використанням ультразвукових хвиль. Було встановлено, що запропонований підхід забезпечує високу чутливість і дозволяє проводити точні вимірювання у широкому діапазоні товщин.

Розроблена модель комплексних коефіцієнтів відбиття та проходження ультразвукових хвиль дозволяє адекватно описати процеси взаємодії хвиль з багат шаровими середовищами.

Підтверджено залежність амплітуди ультразвукових хвиль від товщини плівки, що свідчить про високу точність методу навіть за наявності зовнішніх впливів. Результати розрахунків модулів коефіцієнтів відбиття та проходження підтверджують ефективність підходу для визначення змін у структурі забруднення.

Особливістю розробленого методу є його безконтактність, що значно спрощує використання системи у реальних умовах, наприклад, на підприємствах для моніторингу стану води у резервуарах. Крім того, система може бути автоматизована, що сприяє оперативному збору та аналізу даних.

Таким чином, отримані результати підтверджують ефективність запропонованого методу для екологічного моніторингу водних ресурсів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію апаратної частини системи та розширення функціональних можливостей вимірювальної техніки для прикладного застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ультразвуковий безконтактний контроль товщини полімерних плівок / В.С. Єременко, Н.М. Защепкіна, 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.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Здоренко В.Г.

Секція 6.

Новітні технології у проектуванні роботизованих систем в неруйнівному контролі, технічній та медичній діагностиці

УДК 378

О.С. Акуленко, студент гр. ПМ-31мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ ПІРОМЕТРА MLX90614

Анотація. Стаття присвячена розробці автоматизованої системи моніторингу температури, яка поєднує сучасні технології безконтактного вимірювання, обробки даних та передачі їх на хмарну платформу. У роботі описано використання пірометра MLX90614 для точного вимірювання температури, мікроконтролера STM32F103CBT6 для обробки отриманих даних та модуля ESP-01 для їх бездротової передачі на платформу ThingSpeak. Основна увага приділяється алгоритмам обробки сигналів, оптимізації передачі даних та реалізації системи в реальному часі для забезпечення точного та ефективного моніторингу.

Ключові слова: моніторинг температури, безконтактне вимірювання, пірометр MLX90614, мікроконтролер STM32F103CBT6, модуль ESP-01, хмарна платформа ThingSpeak, автоматизація, візуалізація даних, алгоритм обробки сигналів, IoT, реальний час, масштабованість.

ВСТУП

У сучасному світі системи дистанційного моніторингу температури відіграють важливу роль у забезпеченні ефективного контролю за станом навколишнього середовища, промислових процесів та здоров'я людини. Точний і регулярний контроль температури стає все більш необхідним у багатьох галузях, таких як медицина, харчова промисловість, кліматичні системи та наукові дослідження[1]. Завдяки новітнім технологіям стало можливим створення недорогих, портативних систем, які забезпечують реєстрацію температури та передачу даних у реальному часі на хмарні платформи для їх обробки та візуалізації.

Ця стаття присвячена розробці автоматизованої системи моніторингу температури, яка базується на пірометрі MLX90614, мікроконтролері STM32F103CBT6 та модулі ESP-01 для передачі даних на платформу ThingSpeak. Система забезпечує точне вимірювання температури, автоматизовану обробку сигналів та візуалізацію результатів у реальному часі.

ЗНАЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ

Системи моніторингу температури є ключовими інструментами для забезпечення стабільної роботи багатьох процесів і запобігання можливим збоєм чи небезпечним ситуаціям. Використання автоматизованих підходів у таких системах надає низку переваг. Завдяки впровадженню сучасних сенсорів, таких як пірометри, досягається висока точність і швидкість вимірювань, що особливо важливо для процесів, які потребують безперервного контролю.

Автоматизація процесу збору та обробки інформації дозволяє мінімізувати помилки, пов'язані з людським фактором, і забезпечити надійність отриманих даних. Крім того, використання хмарних платформ дає можливість передавати дані в режимі реального часу, що спрощує аналіз і забезпечує зручне зберігання інформації з подальшою візуалізацією результатів[2].

Ще однією суттєвою перевагою є компактність та універсальність таких систем, що дозволяє використовувати їх у різних середовищах, включаючи віддалені локації. Інтеграція хмарних технологій розширює можливості

моніторингу, забезпечуючи доступ до даних з будь-якої точки світу через мережу Інтернет. Таким чином, автоматизовані системи моніторингу температури є універсальними та ефективними рішеннями для сучасних задач контролю.

ПОБУДОВА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ

Розроблена система моніторингу базується на трьох ключових компонентах: датчику температури MLX90614, мікроконтролері STM32F103CBT6 та модулі ESP-01. Датчик MLX90614 дозволяє проводити безконтактне вимірювання температури з високою точністю у широкому діапазоні. Мікроконтролер STM32F103CBT6 використовується для обробки даних, отриманих із датчика, і підготовки їх до передачі. Модуль ESP-01 забезпечує бездротове підключення до мережі Wi-Fi та передачу даних на платформу ThingSpeak:

Модульність та розподіленість:

Система працює у реальному часі. Дані, отримані з MLX90614, обробляються STM32 і передаються через ESP-01 кожні 15 секунд на ThingSpeak, де вони зберігаються, аналізуються та відображаються у вигляді графіків[3-4].

АНАЛІЗ І МОЖЛИВОСТІ РОЗШИРЕННЯ СИСТЕМИ

Розроблена система моніторингу температури є модульною, що дозволяє легко інтегрувати додаткові функції та розширювати її можливості. Окрім основного функціоналу, пов'язаного з моніторингом температури, система може бути адаптована для роботи з іншими типами датчиків, такими як датчики вологості, тиску чи газу. Це дає змогу створити універсальну платформу для моніторингу декількох параметрів одночасно.

Додатково можна інтегрувати функції автоматичного реагування на зміни умов. Наприклад, система може бути доповнена реле або іншими виконавчими пристроями для активації кліматичного обладнання у разі перевищення певних порогових значень температури. Це дозволить автоматизувати управління процесами, що значно зменшить участь людини у контролі та підвищить ефективність системи.

Інтеграція з іншими хмарними платформами, такими як AWS IoT або Microsoft Azure, також відкриває перспективи для масштабування системи. Використання додаткових сервісів штучного інтелекту дозволить впровадити аналіз трендів і прогнозування змін температури, що є важливим для попередження аварійних ситуацій у складних системах.

Впровадження енергоефективних технологій, таких як сонячні панелі або інші альтернативні джерела живлення, дозволить використовувати систему у віддалених регіонах, де немає доступу до електромережі. Це підвищить її автономність і розширить спектр можливостей застосування.

Завдяки таким удосконаленням система може перетворитися на багатофункціональну платформу для моніторингу параметрів у реальному часі з можливістю реагування на зміну умов. Це робить її корисною для застосувань у промисловості, сільському господарстві, будівництві та інших галузях

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ПЛАТФОРМ

Використання хмарної платформи ThingSpeak для зберігання і візуалізації даних має низку переваг:

- Доступність даних із будь-якого пристрою з Інтернет-з'єднанням
- Автоматична візуалізація даних у вигляді графіків.
- Легка інтеграція з іншими платформами для подальшого аналізу або обробки даних.
- Можливість налаштування сповіщень для користувача у разі перевищення заданих порогових значень температури.

ВИСКОВКИ

Розробка автоматизованих систем моніторингу температури є важливим кроком у впровадженні сучасних технологій для контролю різноманітних процесів. Інтеграція пірометра MLX90614, мікроконтролера STM32F103CBT6 та модуля ESP-01 дозволила створити портативну, зручну у використанні систему, яка забезпечує точне вимірювання температури, автоматичну обробку даних і їх передачу на платформу ThingSpeak. Завдяки цьому система надає можливість моніторингу температури у реальному часі, що є важливим для багатьох галузей.

Подальший розвиток таких систем може бути спрямований на розширення функціональності, інтеграцію з іншими датчиками та покращення точності й швидкодії. Це відкриває нові можливості для аналізу та управління даними, роблячи систему перспективною для використання у майбутньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Протасов А. Г. Особливості професійної підготовки фахівців з неруйнівного контролю та технічної діагностики у вищому навчальному закладі. Проблеми інженерно-педагогічної освіти. Харків, 2006. № 13.
- [2] Протасов, А. Г. Технології теплового неруйнівного контролю [Електронний ресурс] / А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 133 с.
- [3] Технології теплового неруйнівного контролю. Лабораторний практикум: навчальний посібник / А.Г. Протасов, Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 90 с
- [4] Сторожик Д.В. Автоматизація процесу теплового неруйнівного контролю шляхом застосування методу комплексування термограм. /Д.В. Сторожик, А.Г. Протасов, О.В. Муравйов, В.Ф. Петрик, Д.В. Петренко/ Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2022, №2, стор. 20-23. <https://doi.org/10.37434/tdnk2022.02.03>

Наук. керівник – к.т.н., Лисенко Ю.Ю.

УДК 004.9:61

*Є.С. Асінов, студент гр. ПМ-31мп, к.т.н., доц. Гришанова І.А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МЕДИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ ЛЮДИНИ

Анотація. Розроблено автоматизовану систему медичного контролю на основі штучного інтелекту, яка забезпечує моніторинг життєвих показників пацієнтів, аналіз стану здоров'я та прогнозування ризиків захворювань. Система інтегрує сучасні алгоритми машинного навчання та надає лікарям інструменти для швидкого прийняття рішень і персоналізованого підходу до лікування.

Ключові слова: Штучний інтелект, автоматизована система, медичний моніторинг, аналіз життєвих показників, прогнозування захворювань, машинне навчання, моніторинг здоров'я.

ВСТУП

Актуальність автоматизації та впровадження штучного інтелекту (ШІ) у сферу медицини обумовлена необхідністю забезпечення точного моніторингу та діагностики стану пацієнтів, а також раннього виявлення захворювань. Проблеми дисбалансу даних і складність аналізу великих обсягів інформації підкреслюють важливість таких систем. Мета роботи полягала у створенні автоматизованої системи медичного контролю з використанням сучасних алгоритмів машинного навчання, що дозволяють прогнозувати ризики захворювань.

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПРОГНОЗІВ РИЗИКІВ ЗАХВОРЮВАНЬ

Розробка моделі штучного інтелекту для прогнозів ризиків захворювань базувалася на використанні сучасних алгоритмів машинного навчання, таких як XGBoost та SMOTEENN. Основна мета полягала у визначенні ймовірності виникнення захворювань на основі аналізу великої кількості медичних даних. На етапі підготовки моделі було здійснено ретельний аналіз вхідних даних, включаючи очищення інформації, виявлення та видалення аномалій, а також вирішення проблеми дисбалансу класів.

Для обробки та підготовки даних використовувалися сучасні Python-бібліотеки, такі як pandas, scikit-learn та matplotlib. Алгоритм SMOTEENN був обраний для усунення дисбалансу в даних, що дозволило поліпшити якість навчання моделі, особливо у випадках з рідкісними захворюваннями [1]. Модель XGBoost продемонструвала високу точність і швидкість навчання, що зробило її оптимальним вибором для аналізу великих обсягів медичних даних.

Алгоритм навчання штучного інтелекту, включаючи всі основні етапи, можна побачити на рисунку 1. Ця схема відображає послідовність процесів підготовки, навчання та тестування моделі, що забезпечує прозорість та розуміння логіки роботи системи.

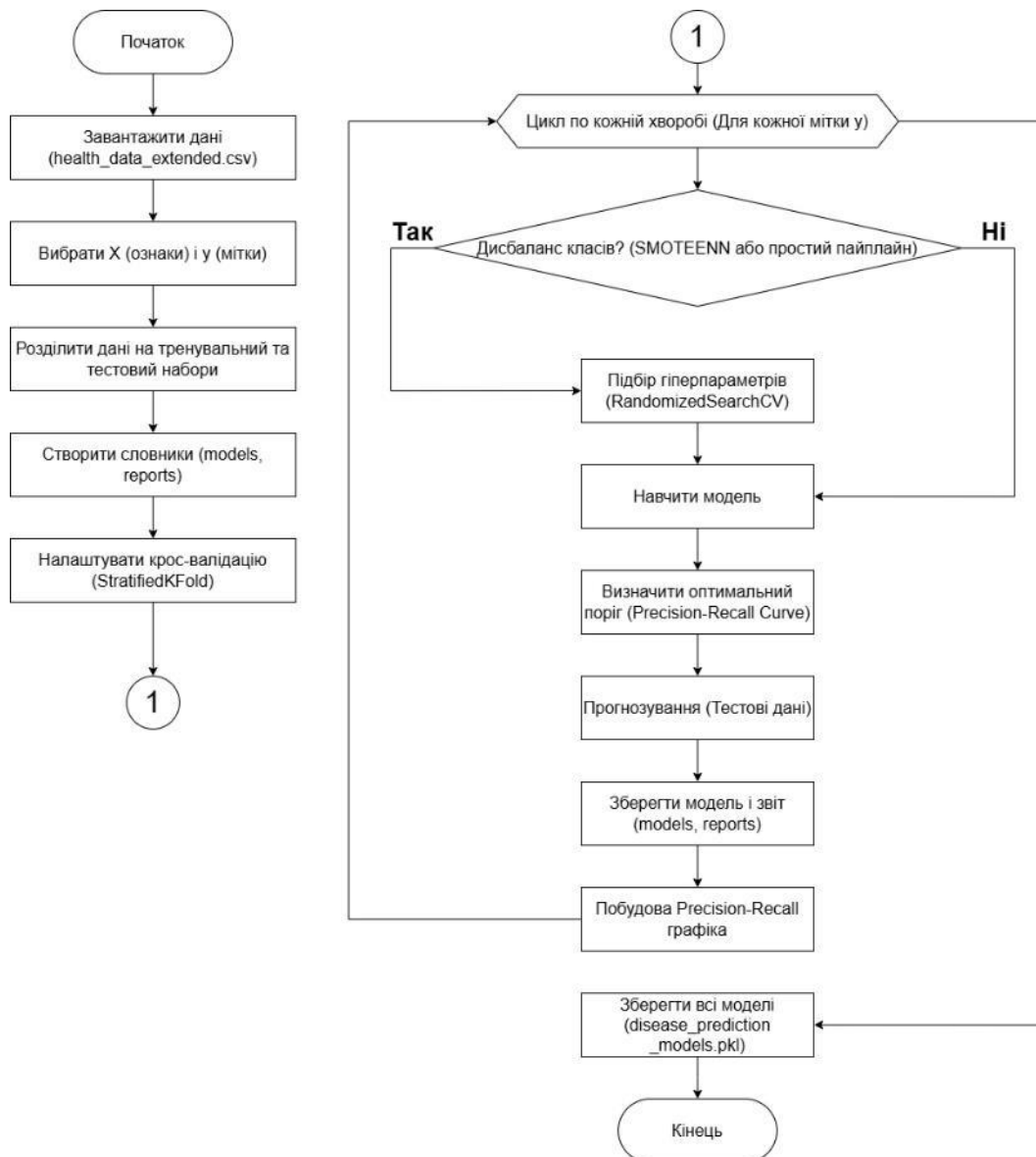


Рис 1. Алгоритм створення та навчання моделі для прогнозування захворювань за допомогою машинного навчання

Навчання моделі включало оптимізацію гіперпараметрів і тестування на різних наборах даних, як симульованих, так і реальних. Ефективність моделі оцінювалася за допомогою метрик F1-міри, точності та відтворюваності, що дозволило переконатися у її придатності для практичного застосування в медичній сфері.

Розроблена модель була інтегрована у програмний засіб, що дозволяє проводити аналіз стану пацієнтів і прогнозувати ризики виникнення захворювань на основі їх життєвих показників. Це забезпечує лікарям оперативний доступ до детальної інформації, допомагає виявляти потенційні проблеми на ранніх стадіях та формувати персоналізовані рекомендації для пацієнтів.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ ЛЮДИНИ

Програмне забезпечення для контролю стану людини було створено з

метою інтеграції алгоритмів штучного інтелекту у медичну практику. Основою системи став фреймворк Django, який забезпечує стабільну та надійну серверну частину додатку [2]. Дані пацієнтів зберігаються у реляційній базі даних MySQL, що дозволяє ефективно обробляти великі обсяги інформації, забезпечуючи її безпечне зберігання та доступність [3]. Інтерфейс програмного забезпечення розроблено з використанням HTML, CSS і JavaScript, що створює зручне середовище для роботи як лікарів, так і пацієнтів.

Система забезпечує моніторинг життєвих показників пацієнта в режимі реального часу, використовуючи сучасні сенсори та стаціонарну систему моніторингу. Дані, отримані від медичних пристроїв, обробляються у режимі реального часу, що дозволяє відстежувати такі параметри, як частота серцевих скорочень, артеріальний тиск, насичення крові киснем, температура тіла та інші показники, важливі для оцінки стану здоров'я.

Отримані дані автоматично обробляються та аналізуються моделлю штучного інтелекту. Модель оцінює ризики виникнення захворювань на основі поточних показників пацієнта та даних, що зберігаються у системі. Результати аналізу виводяться у зручному та зрозумілому форматі через інтерфейс системи, що дає змогу лікарям отримати оперативний доступ до ключових висновків щодо стану здоров'я пацієнта.

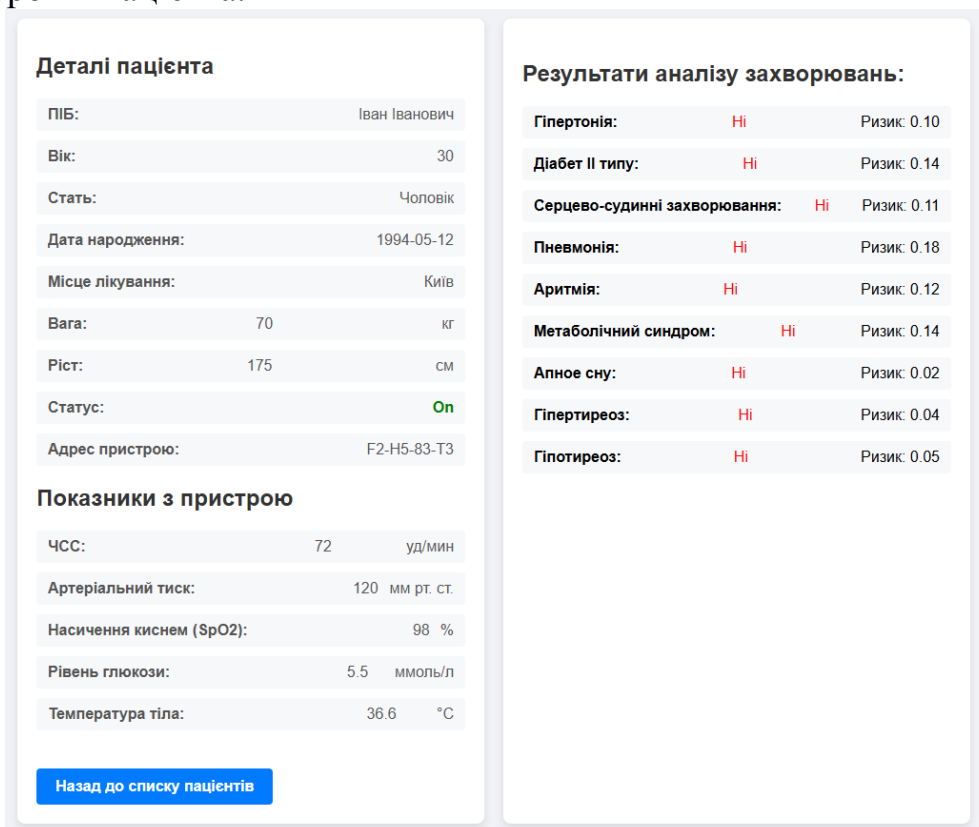


Рис 2. Показники стану здоров'я та результати аналізу ризиків захворювань для пацієнта

На рисунку 2 представлено основні показники стану здоров'я пацієнта та результати аналізу ризиків захворювань. Цей візуальний інструмент дозволяє легко інтерпретувати отриману інформацію та забезпечує швидке прийняття рішень у разі виявлення критичних відхилень у показниках.

Програмний засіб є ефективним інструментом для інтеграції сучасних

технологій штучного інтелекту у медичну практику, забезпечуючи лікарів інструментами для аналізу та моніторингу стану пацієнтів у реальному часі.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання роботи було розроблено автоматизовану систему медичного контролю, яка інтегрує модель штучного інтелекту для прогнозування ризиків захворювань. Система дозволяє здійснювати моніторинг життєвих показників пацієнтів у режимі реального часу, аналізувати отримані дані та виводити результати у зручному форматі для лікарів. Використання алгоритмів XGBoost та SMOTEENN забезпечило високу точність прогнозування навіть за умов дисбалансованих даних, що підтверджено тестуванням на симульованих і реальних наборах даних.

Запропоноване програмне забезпечення включає стаціонарну систему моніторингу з інтеграцією сучасних сенсорів та забезпечує дотримання стандартів конфіденційності даних. Тестування підтвердило його ефективність у ранньому виявленні відхилень у стані пацієнтів, що дозволяє своєчасно реагувати на критичні ситуації. Система готова до впровадження в медичну практику, зокрема у лікарнях, реабілітаційних центрах та в рамках телемедицини, забезпечуючи лікарів потужними інструментами для підтримки клінічних рішень і підвищення якості медичних послуг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Балансування даних в незбалансованій класифікації за допомогою алгоритму SMOTE [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://hanna-shares.medium.com/>
- [2] Django (web framework) [Electronic resource] – Access mode: [https://en.wikipedia.org/wiki/Django_\(web_framework\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Django_(web_framework))
- [3] MySQL: Understanding What It Is and How It's Used [Electronic resource] – Access mode: <https://www.oracle.com/sa/mysql/what-is-mysql/#:~:text=MySQL%20is%20an%20open%20source,a%20popular%20choice%20for%20developers.>

UDC 629.7

I.O. Dovbysh, student gr.PK-11, Ph.D. Muraviov O.V.

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

COMPLEMENTARY FILTER FOR UAV ATTITUDE ESTIMATION

Annotation. This paper considers filtering techniques, used for unmanned aerial vehicles attitude estimation, a critical aspect of navigation and autonomy. The study compares traditional Kalman Filters with complementary filters, which use sensor fusion to correct the measurements. The complementary filter structure, main equations, and principles are given in this paper.

Keywords: inertial measurement unit (IMU), complementary filter, data processing, attitude estimation, autonomous navigation.

INTRODUCTION

Unmanned aerial vehicles (UAVs) are becoming more autonomous as their tasks grow in complexity. A fundamental capability required to enable drones to operate without human involvement is UAV attitude estimation. It needs frequent and accurate data from sensors, that could be used for defining the drone`s position and orientation (pose) [1].

Technologies, that are used for the defined task vary depending on the features of the environment, in which the drone is supposed to operate [2]. All UAVs are equipped with inertial measurement units (IMUs), which provide data at frequencies of up to 200 Hz, enabling them to function independently of external information sources for short periods of time. Based on the fact, that IMU has a continuously growing bias, measurements must be corrected with additional sources [3].

For outdoor operations, the GPS is widely used to complement IMU data. However, in GPS-denied environments, other sensors, such as vision and lidar, can be used alongside the IMU.

Although the mentioned technologies provide accurate data, their update rate is slower than that of IMUs. That is why, besides sensor fusion, filtering algorithms are essential for IMUs to reduce bias and noise. Moreover, such filters allow IMU to be used independently from other sensors for short-time tasks, particularly in small-size drones.

LITERATURE OVERVIEW

One of most widely used techniques for filtering the measurements from IMU is using the Kalman Filter (KF). This method is based on the principle of comparing previous values with current measurements, which prevents getting random values and getting rid of noise. As for now, Extended KF [4, 5] and Unscented KF [6] are greatly developed.

However, KF is mostly used to correct data from one source of information, which results in continuously growing errors. That is why data for drone attitude estimation is obtained from different sensors or both sensor and mathematical models of UAVs [6].

Sensor fusion is implemented in complementary filters, which are used both with KF and as an alternative. Increasing the accuracy of IMU measurements could be done by using nonlinear complementary filters, such as direct, passive, and explicit complementary filters [7].

RESULTS

UAV pose could be represented in various forms. The most popular of them are Euler angles, rotation matrices, and quaternions. Commonly, all of them are used for low-level UAV control, that is converting the desired position to the angular velocity or voltage for motors.

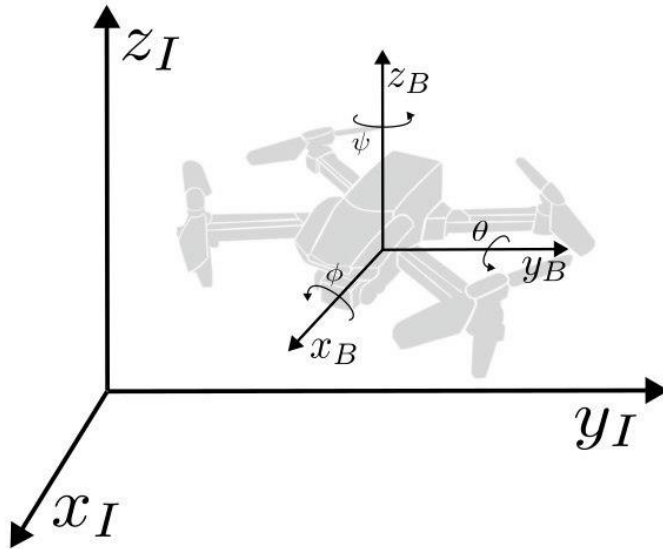


Figure 1. Euler angles representation

In this paper we will use Euler angles representation. Euler angles are roll ϕ , pitch θ and yaw ψ or the tilt of body-attached frame B above x , y , and z respectively in an inertial frame I (commonly fixed on the ground) The frames and Euler angles are illustrated in Figure 1.

Modern IMU consists of 3 sensors: accelerometer, gyroscope, and magnetometer. The values different sensors are compared to get the filtered measurement. For this process,

complementary filters are used.

For further calculations, we assume that angular velocities $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ are the Euler angles derivative:

$$[\dot{\phi} \ \dot{\theta} \ \dot{\gamma}] = [\omega_x \ \omega_y \ \omega_z] \tag{1}$$

For and roll and pitch angles estimation measurements from accelerometer and gyroscope are used. The scheme for pitch correction, done by complementary filter, is represented in Figure 2.

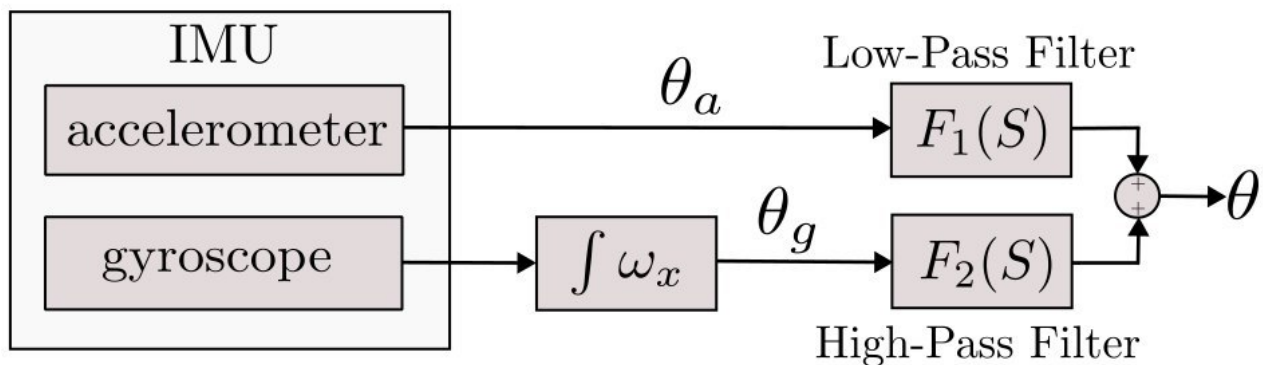


Figure 2. Complementary filter

A low-pass filter $F_1(s)$ is used to reduce noise in measurements from an accelerometer and a high-pass $F_2(s)$ filter helps to get rid of gyroscope bias, what is the result of time-dependable drift of measurement. Adding filters together we have to obtain:

$$F_1(s) + F_2(s) = 1 \quad (2)$$

The Laplace transform of the filters are designed as follows:

$$F_1(s) = \frac{\tau}{\tau s + 1} \quad (3)$$

$$F_2(s) = \frac{s}{\tau s + 1} \quad (4)$$

where τ is the time constant, which defines cutoff frequency and relative weights to used measurements. It is adjusted during flight testing. Generally, the weight of values got from gyroscope is greater than 95%, so that the weight of accelerometer data is lower than 5%.

The resulting equation for pitch is:

$$\theta(s) = \frac{\tau}{\tau s + 1} \cdot \theta_a(s) + \frac{s}{\tau s + 1} \int \omega_y(s) ds \quad (5)$$

Filtering of roll measurements are analogically described.

Yaw estimation requires fusion of data from magnetometer and gyroscope. To obtain the angle for yaw form magnetometer, its measurements have to be projected on horizontal plane:

$$m_x^I = \widetilde{m}_x^B \cos \theta + \widetilde{m}_y^B \sin \phi \sin \theta + \widetilde{m}_z^B \cos \phi \sin \theta \quad (6)$$

$$m_y^I = \widetilde{m}_y^B \cos \theta + \widetilde{m}_z^B \sin \phi \quad (7)$$

where m_x^I, m_y^I are magnetometer measurements calculated for inertial frame, and m_x^B, m_y^B, m_z^B are magnetometer measurements in body-attached frame.

The yaw value from magnetometer data could be found as follows:

$$\psi_m = \arctan2(m_x^I, m_y^I) \quad (8)$$

Considering the given algorithm, yaw estimation process has several issues, such that:

- Using magnetometer measurements, the difference in geographic location between true and magnetic North must be considered, as in the majority of cases trajectory for the flight is created with respect to true North;
- Magnetometer measurements might be influenced by influenced by magnetic interference from onboard electronics and external sources;
- Inaccuracies in pitch and roll angles estimation influence the yaw estimation, as they are used for magnetic vector projection on inertial frame.

Equation, that describes the yaw filtering by fusing measurements from gyroscope and magnetometer, is designed as follows:

$$\psi(s) = \frac{\tau}{\tau s + 1} \cdot \psi_m(s) + \frac{s}{\tau s + 1} \int \omega_z(s) ds \quad (9)$$

CONCLUSIONS

The described complementary filter is simple in implementation and requires minimal computational resources, making it highly suitable for small UAVs. It

combines measurements from accelerometer, gyroscope and magnetometer to get precise values for drone orientation. Its effectiveness in GPS-denied environments broads the capabilities of IMU usage, making it possible to be the only source for pose estimation, particularly for mini-UAVs. The complementary filter serves as a robust foundation for advancing UAV autonomy.

Our future work will focus on implementing the described filter on a physical mini-UAV. This will include quantitative assessments of accuracy, and stability.

REFERENCES

- [1] Муравйов О. В. Перспективи розвитку технологій та підвищення рівня автономності БПЛА / О.В. Муравйов, І.О. Довбиш, Р.М. Галаган, Г.А. Богдан, А.С. Момот // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки.* – 2023. – Том. 34 (73). – № 2. – С. 199-205.
- [2] Довбиш І. О. Силові установки та джерела енергії сучасних БпЛА / І.О. Довбиш, О.В. Муравйов, Р.М. Галаган, Г.А. Богдан, А.С. Момот // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки.* – 2023. – Том. 34 (73). – № 5. – С. 16-21.
- [3] Довбиш І.О., Муравйов О.В. Залежність архітектури рою від рівня автономності БпЛА. *XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»*, м. Київ, збірник праць конференції. – 2023. – С. 158-161.
- [4] Mao, Guoqiang & Drake, Samuel & Anderson, Brian. Design of an Extended Kalman Filter for UAV Localization. *Conference Proceedings of 2007 Information, Decision and Control, IDC.* – 2007. – pp. 224-229.
- [5] Tayebi, Abdelhamid & Roberts, Andrew & Benallegue, Abdelaziz. Inertial measurements Based dynamic attitude estimation and velocity-free attitude stabilization. *American Control Conference*, San Francisco, USA – 2011. – pp. 1027-1032.
- [6] Goslinski, Jaroslaw & Giernacki, Wojciech & Królikowski, Andrzej. A Nonlinear Filter for Efficient Attitude Estimation of Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Journal of Intelligent & Robotic Systems.* – 2019. – 95(6). – pp. 1079-1095.
- [7] Jean-Michael Pflimlin Robert Mahony, Tarek Hamel. Nonlinear Complementary Filters on the Special Orthogonal Group. *IEEE Transactions on Automatic Control.* – 2008. – 53(5). – pp. 1203-1218.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Муравйов О.В.

УДК 378

*В.В. Коновал, студент гр. ПМ-31мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ В ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСАХ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Анотація. Стаття присвячена аналізу інноваційних підходів до створення інтелектуальних систем моніторингу в опалювальних комплексах. Розглянуто методи передачі даних у реальному часі, що забезпечують ефективний контроль і діагностику стану обладнання. Визначено основні переваги інтегрованих систем моніторингу.

Ключові слова: моніторинг, енергоефективність, інтеграція, WiFi, опалювальні комплекси.

ВСТУП

Сучасні системи автоматизації відіграють важливу роль у підвищенні ефективності та надійності роботи теплотехнічного обладнання. В умовах зростаючих вимог до енергоефективності та стабільності опалювальних комплексів усе більше уваги приділяється впровадженню інтелектуальних систем моніторингу. Вони дозволяють контролювати стан обладнання в реальному часі, аналізувати дані та прогнозувати можливі відмови.

Розвиток технологій передачі даних відкриває нові можливості для інтеграції роботизованих систем у процеси моніторингу та управління. Це забезпечує автоматизацію роботи обладнання, знижує експлуатаційні витрати та сприяє оптимізації технічного обслуговування.

У статті розглянуто принципи створення таких систем, їхні ключові компоненти, а також можливості адаптації до різних умов роботи та потреб користувачів.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

Інтелектуальною називається система, здатна цілеспрямовано, залежно від стану інформаційних входів, змінювати не тільки параметри функціонування, а й сам спосіб своєї поведінки, який залежить не тільки від поточного стану, але і від попередніх станів системи [1-2].

Опалювальні комплекси потребують впровадження інноваційних рішень для моніторингу та управління, які враховують високу динамічність робочих параметрів та необхідність мінімізації енергоспоживання. Традиційні підходи, що базуються на ручному управлінні або застарілих автоматичних системах, більше не відповідають вимогам до енергоефективності, оперативності та точності.

Інтелектуальні системи моніторингу забезпечують комплексне вирішення цих завдань завдяки інтеграції сучасних технологій. Основними елементами таких систем є:

- **Сенсорні мережі та модулі збору даних:** використання сенсорів дозволяє здійснювати постійний контроль ключових параметрів системи, таких як температура, тиск, витрати теплоносія, якість теплообміну тощо. Сенсорні мережі забезпечують точність вимірювань і

підтримують гнучкість у розміщенні датчиків навіть у складних експлуатаційних умовах.

- **Аналіз даних у реальному часі:** інтелектуальні алгоритми аналізу даних дозволяють не лише фіксувати поточний стан обладнання, але й прогнозувати можливі відмови. Наприклад, аналіз змін у роботі насосу може сигналізувати про зношення підшипників або гідравлічні дисбаланси, що дозволяє уникнути аварійної зупинки системи.
- **Модульна архітектура системи:** інтелектуальні системи проектуються на основі модульної архітектури, яка дає змогу адаптувати систему до різних типів обладнання. Це дозволяє модернізувати опалювальні комплекси без значних витрат на реконструкцію.
- **Бездротова передача даних:** сучасні технології зв'язку (WiFi, LoRaWAN, ZigBee) дозволяють швидко передавати дані з сенсорів до центрального контролера або сервера для обробки. Це знижує потребу в кабельних з'єднаннях та полегшує інтеграцію у вже існуючі системи.
- **Інтеграція штучного інтелекту:** використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту дає змогу оптимізувати роботу обладнання, автоматично регулюючи його роботу залежно від змін зовнішніх та внутрішніх параметрів.
- **Користувацький інтерфейс:** для забезпечення зручного доступу до інформації про стан системи створюються мобільні додатки або веб-інтерфейси. Вони дозволяють користувачеві контролювати роботу системи, отримувати повідомлення про стан обладнання та налаштовувати параметри роботи без необхідності прямого контакту з апаратурою.

Інноваційні підходи до створення таких систем дозволяють значно підвищити енергоефективність, зменшити витрати на обслуговування та покращити загальну надійність опалювальних комплексів. Це відповідає сучасним вимогам сталого розвитку та екологічності, що робить такі рішення перспективними для впровадження в різних масштабах.

МЕТОДИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ

Ефективний моніторинг обладнання забезпечується використанням технологій передачі даних, таких як WiFi, мобільні мережі 4G/5G, Ethernet і протоколи типу MQTT. WiFi забезпечує гнучкість і високу швидкість, мобільні мережі дозволяють працювати на віддалених об'єктах, а дротові рішення гарантують стабільність у промислових умовах. Вибір технології залежить від особливостей об'єкта моніторингу та вимог до системи.

Використання WiFi-технологій у системах моніторингу значно підвищує оперативність і ефективність передачі даних у реальному часі. Ця технологія забезпечує безперебійний зв'язок між сенсорами та центральним сервером, дозволяючи отримувати актуальну інформацію про стан системи [3].

Основними перевагами WiFi є:

- **Висока швидкість передачі даних**, яка дозволяє збирати та обробляти великі обсяги інформації від різних компонентів системи.
- **Мобільність і гнучкість**, що спрощує розгортання системи без необхідності прокладання кабельних мереж.
- **Інтеграція з мобільними пристроями**, яка надає користувачам можливість віддаленого моніторингу через додатки або веб-інтерфейси.

Це рішення є особливо актуальним для розгалужених систем, де необхідно мінімізувати витрати на інфраструктуру та забезпечити масштабованість. Завдяки можливості розширення мережі WiFi дозволяє легко додавати нові сенсори чи пристрої до системи, не порушуючи її роботи.

Впровадження нових технологій сприяє ефективному контролю теплотехнічного обладнання, своєчасній діагностиці можливих несправностей та зменшенню витрат на технічне обслуговування.

ПЕРЕВАГИ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

Інтегровані системи моніторингу надають можливість організувати комплексний підхід до управління і контролю за технічними та виробничими процесами. Завдяки злагодженій роботі компонентів таких систем, організації отримують значні переваги [4]:

- **Зменшення часу простою обладнання на 20–30%**. Інтеграція моніторингових рішень дозволяє оперативно виявляти потенційні несправності й усувати їх до того, як вони призведуть до зупинки роботи. Це особливо важливо для підприємств з безперервним циклом виробництва.
- **Підвищення продуктивності на 15–25%**. Системи аналізують робочі параметри в реальному часі та адаптують роботу обладнання відповідно до зміни умов, що оптимізує виробничі процеси.
- **Зниження експлуатаційних витрат на 10–15%**. Завдяки моніторингу знижується необхідність у частих перевірках обладнання, а своєчасна діагностика дозволяє запобігати масштабним аваріям, які вимагають значних витрат на ремонт.
- **Безпека праці**. Системи моніторингу забезпечують виявлення ризиків для працівників, таких як надмірна температура, високий рівень вібрації чи небезпечні хімічні речовини. Це дозволяє знижувати кількість нещасних випадків.
- **Екологічність**. Завдяки точному контролю ресурсів інтегровані системи знижують кількість відходів та вплив на навколишнє середовище.

Багаторівневі системи моніторингу базуються на розподіленій архітектурі, що включає сенсорний, обчислювальний та управлінський рівні. Завдяки цьому забезпечується [5]:

1. Своєчасне виявлення відхилень від нормальних параметрів роботи.
2. Можливість автоматичного реагування на несправності.
3. Централізований контроль за всіма етапами виробничого процесу.

ВИСКОВКИ

Інтеграція інтелектуальних систем моніторингу в сучасні опалювальні комплекси та інші технічні об'єкти відкриває нові можливості для підвищення ефективності їхньої роботи. Використання інноваційних технологій дозволяє не лише покращити контроль за станом обладнання, але й значно зменшити витрати, пов'язані з його обслуговуванням та експлуатацією.

Завдяки впровадженню автоматизованих рішень забезпечується своєчасне виявлення проблем, запобігання несправностям і швидке реагування на зміни умов експлуатації. Поєднання бездротових технологій, штучного інтелекту та багаторівневих систем управління сприяє створенню гнучких і адаптивних платформ, здатних відповідати потребам сучасної інфраструктури.

Розробка та застосування таких систем не лише сприяють економії ресурсів, але й покращують стабільність і безпеку функціонування об'єктів, що робить їх незамінним інструментом для забезпечення сталого розвитку. Інтелектуальні системи моніторингу стають важливим кроком до майбутнього, де ефективність, надійність та екологічність є пріоритетами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Шаров С.В., Лубко Д.В., Осадчий В.В. (2015). "Інтелектуальні інформаційні системи: навчальний посібник". Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2015.
- [2] Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. (2016). "Deep Learning". Cambridge, MA: MIT Press
- [3] Бережний І.В., Наконечний А.Й. (2020). Система дистанційного моніторингу та керування кліматичними параметрами приміщень в процесі промислового виробництва
- [4] Марченко Н.Б., Монченко О.В., Мартинюк Г.В., (2021) Багаторівневі системи моніторингу та діагностики як конструктивний розвиток інтелектуальних інформаційних систем
- [5] Теслюк Т.В., Цмоць І. Г., Юрій О., Теслюк В.М., (2017) Архітектура багаторівневої системи управління енергоефективністю регіону

Наук. керівник – к.т.н. Ткаченко С.С.

УДК 628.9.06

А.В. Новожилова, студ. гр. ПМ-31мп, к.т.н., доц. Лисенко Ю.Ю.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ: ОГЛЯД МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ

Анотація. Стаття присвячена огляду методів контролю фізіологічних показників людини в рамках системи моніторингу стану здоров'я. Розглядаються сучасні технології вимірювання пульсу, сатурації, температури тіла, артеріального тиску, рівня глюкози та ЕКГ. Аналізуються апаратно-програмні засоби, включаючи сенсорні модулі, алгоритми обробки сигналів і методи передачі даних. Висвітлюються переваги та недоліки різних методів, а також перспективи їх впровадження у системах віддаленого моніторингу.

Ключові слова: моніторинг здоров'я, фізіологічні показники, IoT, сенсорні технології, захист даних, ЕКГ.

ВСТУП

У сучасному світі технології відіграють ключову роль у забезпеченні доступності та якості медичних послуг. Одним із важливих напрямків розвитку є створення систем моніторингу стану людини, які дозволяють отримувати дані про фізіологічні показники в реальному часі та передавати їх для аналізу на віддалені платформи. Це особливо актуально в умовах зростання кількості пацієнтів із хронічними захворюваннями, коли своєчасний контроль стану здоров'я стає критично важливим. Інтеграція сенсорних технологій, методів обробки сигналів та бездротової передачі даних відкриває нові можливості для персоналізованої медицини. Системи моніторингу, що базуються на таких принципах, дозволяють не лише оперативно оцінювати стан пацієнтів, але й прогнозувати можливі ризики, зменшуючи навантаження на медичні заклади.

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЛЮДИНИ: ОГЛЯД МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЮДИНИ

– Вимірювання пульсу та сатурації (SpO_2)

Вимірювання пульсу та сатурації (SpO_2) є важливими параметрами для моніторингу здоров'я людини, особливо у випадках серцево-судинних захворювань та хронічних розладів. Сучасні пристрої для вимірювання цих показників часто використовують метод фотоплетизмографії (PPG), що заснований на аналізі відбитого світла від тканин тіла [1]. За допомогою спеціальних сенсорів, таких як модуль MAX30102, вимірюється зміна поглинання світла в артеріях, що дозволяє оцінити частоту серцевих скорочень і рівень насичення крові киснем. Сигнал, що отримується від фотодетектора, містить змінні і постійні компоненти, які використовуються для обчислення пульсу та SpO_2 . Методи обробки сигналів дозволяють коригувати вплив зовнішніх факторів, таких як рухи пацієнта чи змінне освітлення, забезпечуючи точність вимірювань. Вимірювання SpO_2 є важливим інструментом для виявлення порушень в роботі дихальної системи, таких як обструкція дихальних шляхів чи проблеми з кровообігом.



Рисунок 1 - Модуль
MAX30102

– **Контроль температури тіла**

Контроль температури тіла є важливим параметром для моніторингу здоров'я, оскільки зміни температури можуть свідчити про наявність інфекційних або запальних процесів. Для вимірювання температури використовуються як контактні, так і безконтактні методи. Одним з найпоширеніших способів є використання інфрачервоних термометрів, які дозволяють швидко та безболісно отримати показники температури без необхідності фізичного контакту [2]. Також популярними є термістори, які працюють на основі зміни електричного опору матеріалу залежно від температури. Для тривалого моніторингу можуть застосовуватись мініатюрні датчики температури, що вбудовуються в носимі пристрої, які передають дані в реальному часі. Точність вимірювань температури важлива для правильного діагностування та вибору лікування, особливо у пацієнтів з лихоманкою або іншими фізіологічними порушеннями.

– **Моніторинг артеріального тиску**

Моніторинг артеріального тиску є важливою частиною контролю за здоров'ям, оскільки дозволяє виявити аномалії в роботі серцево-судинної системи, що можуть призвести до серйозних захворювань, таких як гіпертонія або гіпотонія. Найбільш поширеними методами вимірювання артеріального тиску є аускультативний та осцилометричний методи, які використовують манжету, що накладається на плече пацієнта [3]. Манжета складається з двох камер: повітряної та водної. Повітряна камера манжети служить для створення тиску на артерію, тим самим тимчасово перекриваючи її. Водна камера, в свою чергу, використовується для вловлювання сигналів пульсації зі стиснутої артерії, що дозволяє визначити значення тиску. Аускультативний метод передбачає прослуховування звуків, які виникають при відновленні кровотоку через артерію, а осцилометричний метод аналізує пульсації тиску, що виникають у манжеті під час декомпресії. Під час вимірювання систолічний тиск визначається при появі перших тонів (для аускультативного методу), а діастолічний — при зникненні тонів або на основі амплітуди пульсацій для осцилометричного методу. Зі збільшенням популярності портативних пристроїв і цифрових тонометрів цей процес став доступним і для широкого кола пацієнтів, що потребують постійного моніторингу тиску.

– **Контроль рівня глюкози**

Контроль рівня глюкози є важливим елементом моніторингу здоров'я, особливо для людей з діабетом або іншими метаболічними порушеннями. Традиційно рівень глюкози визначається за допомогою крові, яку забирають із пальця, та спеціальних глюкометрів. Однак сучасні технології дозволяють здійснювати безконтактне вимірювання рівня глюкози, використовуючи інфрачервоні та оптичні методи. Один з таких підходів — це використання інфрачервоного випромінювання для оцінки концентрації глюкози в крові, що базується на вимірюванні поглинання світла тканинами [4]. Ці методи дозволяють проводити вимірювання без необхідності брати зразки крові, що робить процес більш зручним і менш болісним для пацієнтів. Сучасні сенсори, які інтегруються в носимі пристрої, забезпечують постійний моніторинг рівня

глюкози та можуть передавати дані на мобільні пристрої або медичні платформи для подальшого аналізу. Такі системи можуть використовувати оптичні технології, як фотоплетизмографія, щоб виявляти зміни в рівні глюкози через аналіз поглинання світла. Водночас точність таких методів залишається важливою проблемою, оскільки на результати вимірювань можуть впливати різні фактори, такі як температура шкіри або рухи пацієнта. Тим не менше, з розвитком технологій та вдосконаленням сенсорів, безконтактні методи моніторингу глюкози набирають популярності. Вони обіцяють значно покращити якість життя пацієнтів, зменшивши необхідність у частих інвазивних вимірюваннях.

– Електрокардіографія (ЕКГ)

Електрокардіографія (ЕКГ) є однією з найважливіших діагностичних методик для оцінки електричної активності серця. Це метод реєстрації електричних імпульсів, що генеруються серцевим м'язом під час його скорочень і розслаблень. Сигнал ЕКГ зазвичай реєструється за допомогою електродів, розташованих на шкірі пацієнта, які зчитують різницю потенціалів, що виникають внаслідок серцевих скорочень [5]. Основним елементом цього процесу є запис хвиль, які відображають різні фази серцевого циклу: деполяризацію та реполяризацію серцевих м'язів. Розрізняють кілька видів відведень, залежно від розташування електродів, що дозволяє отримати різноманітну інформацію про роботу серця. ЕКГ є незамінним інструментом для виявлення аритмій, блокад, ішемії, інфаркту міокарда та інших серцевих захворювань. Важливою особливістю ЕКГ є її висока чутливість до змін в електричній активності серця, що дозволяє лікарям своєчасно діагностувати відхилення в роботі серця. Для аналізу отриманого сигналу застосовуються різні алгоритми, що дозволяють визначити частоту серцевих скорочень, інтервали між ударами та амплітуду хвиль

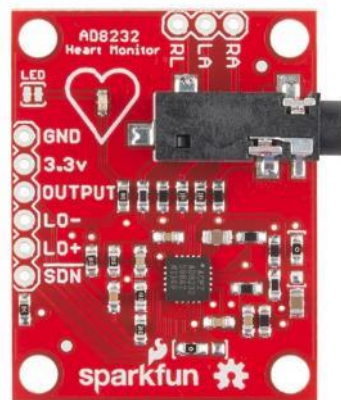


Рисунок 3 - Модуль AD8232

ВИСНОВКИ

Запропоновані методи та технології є основою для створення ефективних систем моніторингу стану здоров'я людини. Їх впровадження сприятиме підвищенню якості медичних послуг і доступності діагностики, дозволяючи оперативно реагувати на зміни у стані здоров'я пацієнтів. Особливо важливим є необхідність комплексного моніторингу, що включає інтеграцію різних фізіологічних показників для забезпечення більш повної картини стану організму. Такий підхід дозволяє виявляти взаємозв'язки між показниками та прогнозувати можливі ускладнення.

Розробка систем, що підтримують комплексний моніторинг, вимагає вдосконалення алгоритмів обробки сигналів і підвищення інтеграції з системами штучного інтелекту для автоматизованого аналізу даних. Запропонована в роботі

концепція може стати основою для таких рішень, спрямованих на оптимізацію медичного обслуговування та підтримку здоров'я пацієнтів у реальному часі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] IoT-Based Smart Health Monitoring System: Investigating the Role of Temperature, Blood Pressure and Sleep Data in Chronic Disease Management | IIETA / Abdikarim Abi Hassan та ін. *IIETA / Advancing the World of Information and Engineering*. URL: <https://www.iieta.org/journals/i2m/paper/10.18280/i2m.220602> (дата звернення: 29.11.2024).
- [2] Towards remote healthcare monitoring using accessible IoT technology: state-of-the-art, insights and experimental design - BioMedical Engineering OnLine / G. Coulby та ін. *BioMed Central*. URL: <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12938-020-00825-9> (дата звернення: 29.11.2024).
- [3] De Michele R., Furini M. IoT Healthcare. *GoodTechs '19: EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good*, Valencia Spain. New York, NY, USA, 2019. URL: <https://doi.org/10.1145/3342428.3342693> (date of access: 29.11.2024).
- [4] IoT-Based Smart Health Monitoring System: Investigating the Role of Temperature, Blood Pressure and Sleep Data in Chronic Disease Management | IIETA / Abdikarim Abi Hassan та ін. *IIETA / Advancing the World of Information and Engineering*. URL: <https://www.iieta.org/journals/i2m/paper/10.18280/i2m.220602> (дата звернення: 29.11.2024).
- [5] Warsi G. G., Hans K., Khatri S. K. IOT Based Remote Patient Health Monitoring System. *2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon)*, Faridabad, India, 14–16 February 2019. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/comitcon.2019.8862248> (date of access: 29.11.2024).

Наук. керівник – доцент, к.т.н., доцент Лисенко Ю.Ю.

УДК 004.056.523

*Н.О. Півень, студент гр. ПМ-31мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

СИСТЕМА ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ОФІСНОГО ПРИМІЩЕННЯ

Анотація. Стаття присвячена розробці системи сигналізації для охорони офісного приміщення. Проведено короткий аналіз особливостей побудови та типів охоронних систем, їх склад, переваг та недоліків. Розглянуто основні категорії датчиків, що використовуються для забезпечення безпеки, з акцентом на їх функціональні особливості, переваги та сфери застосування. Здійснено порівняння дротових, бездротових та комбінованих охоронних систем, визначено їхні переваги та недоліки з точки зору надійності, гнучкості та зручності установки.
Ключові слова: охоронна сигналізація, офісна безпека, Android, сенсори, система моніторингу.

ВСТУП

Загрози у вигляді несанкціонованого доступу, крадіжок або вандалізму можуть завдати значних збитків компаніям, тому розробка систем для охорони приміщень є актуальним завданням. Сучасні охоронні системи покликані забезпечувати моніторинг ситуації в реальному часі, оперативно виявляти потенційні загрози та сповіщати власників або відповідальні служби про будь-які інциденти [1-2].

Системи охоронної сигналізації здатні ефективно виявляти спроби проникнення, реагувати на зміни у середовищі та забезпечувати своєчасну реакцію. Для цього використовуються різноманітні датчики (руху, відкриття дверей, вікон), GSM-модулі для передачі сповіщень, а також інтеграція з мобільними додатками, що дозволяє користувачам дистанційно керувати системою [3-5].

У статті проведено аналіз сучасних охоронних систем, їхніх функціональних можливостей та способів інтеграції з мобільними платформами. Представлено розробку охоронної системи для офісного приміщення, яка забезпечує високий рівень безпеки, зручність використання та можливість масштабування.

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Охоронна сигналізація – це система, призначена для захисту об'єктів від небажаних подій і потенційних загроз. В загальному випадку така система складається з різноманітних сенсорів, що відстежують стан приміщення, та блоку керування, який отримує інформацію від датчиків та є головним керуючим елементом системи.

Датчики в системах охоронної сигналізації (СОС) зазвичай вимірюють неелектричні величини, що вимагає високої надійності [2]. До найбільш популярних типів сенсорів належать [3, 4]:

- інфрачервоні датчики присутності і руху;
- датчики розбиття скла;
- мікрохвильові датчики;
- вібраційні сенсори;
- фотоелектричні сенсори;
- магнітні датчики;

– ультразвукові сенсори.

Блок керування (БК) є основним елементом СОС і працює на базі мікроконтролера, який виконує усі функції системи. БК можна під'єднати до комп'ютера для обробки і реєстрації сигналів тривоги, аналізу стану датчиків і ефективності роботи системи. Керуючі модулі управляють виконавчими приладами, вмикаючи освітлення, звукову сирену або відправляючи повідомлення на телефон власника приміщення.

З точки зору побудови СОС можна поділити на:

- дротові;
- бездротові;
- комбіновані.

У дротових системах сигнал від датчиків до центрального модуля передається по кабелю, а в бездротових – через радіоканал. Комбіновані системи об'єднують ці два типи, що дозволяє передавати сигнал як через радіоканал, так і через кабель. Сучасні бездротові рішення значно підвищили свою надійність і стали серйозною альтернативою дротовим, пропонуючи більшу гнучкість, масштабованість і простоту монтажу [2, 5]. Дротові системи частіше застосовуються там, де датчики потребують підключення до зовнішнього джерела живлення.

СИСТЕМА ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ОФІСНОГО ПРИМІЩЕННЯ

При створенні системи охоронної сигналізації було використано принцип модульності, за яким розроблена система поділяється на окремі модулі, кожен з яких виконує конкретну функцію. Схематичне зображення загальної структури і функціональних частин побутової охоронної сигналізації представлено на рис. 1.

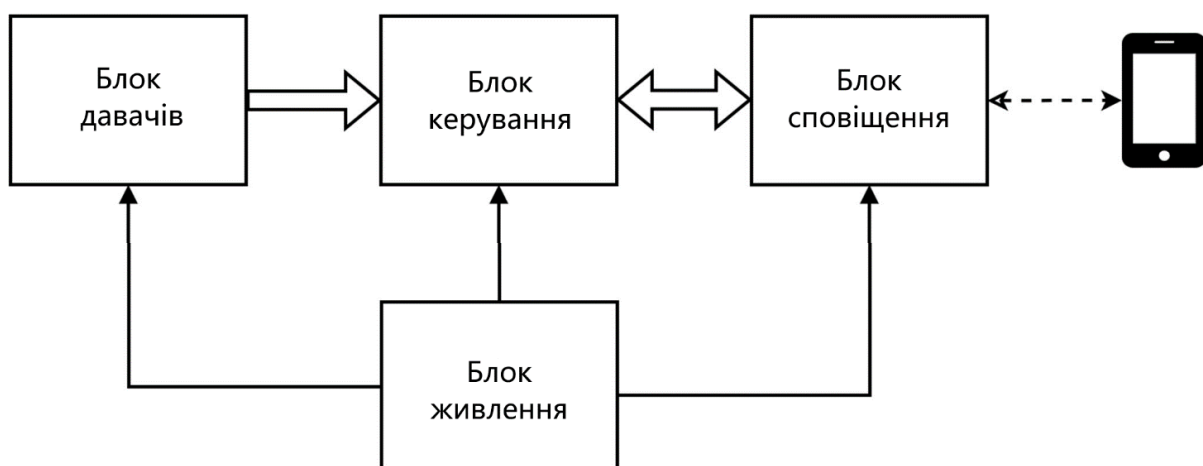


Рисунок 1 – Узагальнена структурно-функціональна схема системи побутової охоронної сигналізації

Проектована система складається з чотирьох блоків:

- блок датчів;
- блок керування;
- блок сповіщення;
- блок живлення.

Оскільки головною метою СОС є моніторинг стану приміщення, виникає потреба в застосуванні датчиків. Усі вони згруповані в окремий модуль. Для обробки інформації використовують блок керування. Для забезпечення автономності роботи системи застосовують акумуляторну батарею. Для реагування на несанкціоновані використовують модуль сповіщення.

Деталізована схема побутової охоронної сигналізації приведена на рис. 2.

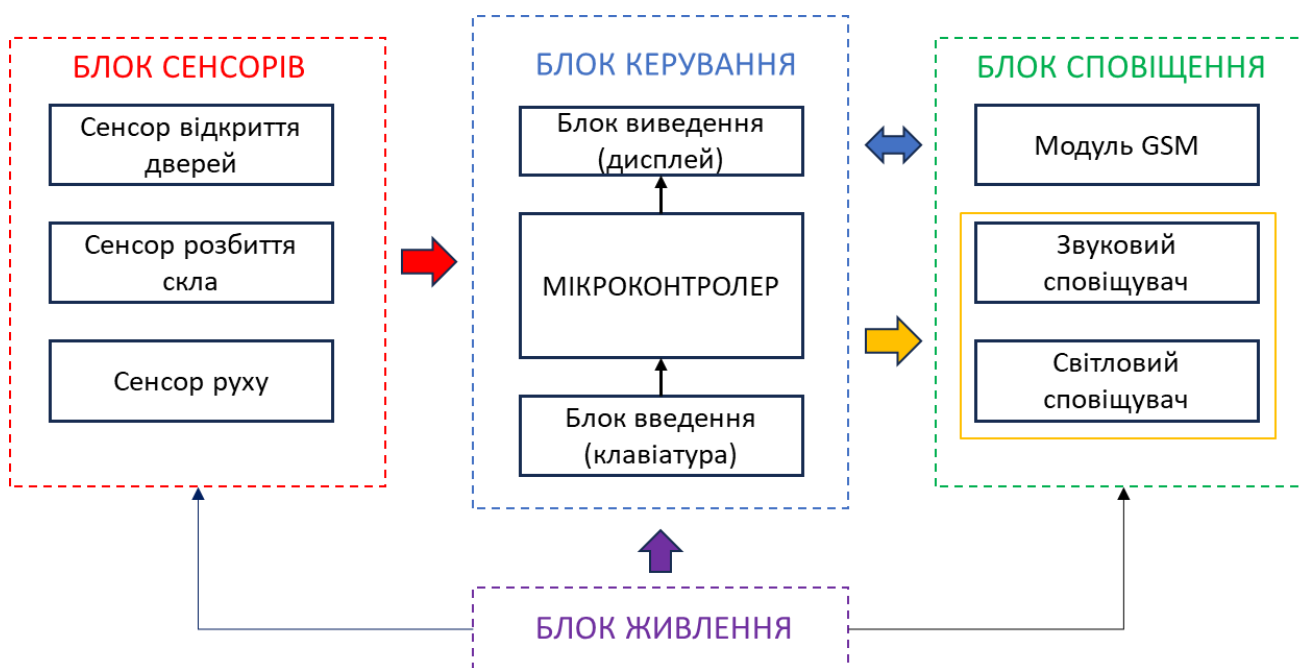


Рисунок 2 – Деталізована схема системи побутової охоронної сигналізації

Модуль датчиків розроблений для збору інформації про стан приміщення та її передачі в керуючий блок. До його складу входять: датчик відкриття дверей; датчик розбиття скла; інфрачервоний датчик руху.

Ці сенсори дозволяють блоку керування отримувати повну інформацію про стан приміщення. Датчики можуть живитися від різних джерел, що забезпечує можливість їхньої установки без необхідності підключення до централізованого блоку живлення.

Інфрачервоний датчик руху здійснює моніторинг активності всередині приміщення. При виявленні об'єкта, що випромінює інфрачервоне тепло, він подає сигнал у блок керування.

Датчик відкриття дверей визначає, чи змінюється положення дверей з закритого стану на відкритий, що є важливим для контролю доступу, адже двері часто слугують головним шляхом проникнення.

Датчик розбиття скла контролює вікна, які можуть бути потенційним місцем проникнення. У разі розбиття скла датчик фіксує характерні акустичні коливання і надсилає відповідний сигнал у керуючий блок.

Таким чином, обрані датчики забезпечують контроль усіх можливих точок входу в приміщення та фіксують переміщення всередині нього.

Керуючий блок містить такі функціональні елементи:

- модуль плати управління на основі мікроконтролера;
- матричну клавіатуру;

– LCD-екран.

Ключовим елементом проєктованої системи є модуль плати управління на основі мікроконтролера, що відповідає за координацію всіх компонентів системи. Матрична клавіатура в парі з LCD-екраном забезпечує користувацький інтерфейс для введення пароля, необхідного для активації та деактивації сигналізації. Ці елементи також дозволяють змінювати пароль пристрою. У проєктованій системі використовується клавіатура з дванадцяти кнопок, розташованих у вигляді матриці 3 x 4, де кнопки розташовані на перетині ліній.

Блок сповіщення включає такі елементи: GSM-модуль; п'єзодинамік; світлодіод.

GSM-модуль відповідає за передачу даних на віддалений пункт моніторингу та сповіщення власника через смартфон. П'єзодинамік забезпечує звукове оповіщення при спрацьовуванні сигналізації, а світлодіод сигналізує про стан тривоги світловим індикатором.

ВИСНОВКИ

У статті було проведено всебічний аналіз систем охоронної сигналізації, зокрема їх основних елементів, типів та принципів роботи. Розглянуто основні категорії датчиків, що використовуються для забезпечення безпеки, з акцентом на їх функціональні особливості, переваги та сфери застосування. Здійснено порівняння дротових, бездротових та комбінованих охоронних систем, визначено їхні переваги та недоліки з точки зору надійності, гнучкості та зручності установки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Михальчук Д. О., Яворська О. М. Аналіз ринку систем охоронної сигналізації. Матеріали 75-ї науково-технічної конференції професорсько- викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів. 2020. С. 49-50.
- [2] Ahmad M. B., Abdullahi A. A., Muhammad A. S., Saleh Y. B., Usman U. B. The Various Types of sensors used in the Security Alarm system. International Journal of New Computer Architectures and their Applications (IJNCAA). 2019. 9(2). P. 50-59.
- [3] Погребенник В. Д., Політило Р. В. Ультразвукові сенсори системи охоронної сигналізації. Вісник НТУУ “КПІ”. Серія «Приладобудування». 2008. Вип. 36. С. 68-76.
- [4] Кугір А. В. Автоматизована система охоронної сигналізації для промислового підприємства. 2021. С. 75-76.
- [5] Çavaş M., Ahmad M. B. A review advancement of security alarm system using internet of things (IoT). International Journal of New Computer Architectures and their Applications (IJNCAA). 9 (2). 2019.P. 38-49.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Богдан Г.А.

УДК 378

*І.О. Пітух, студент гр. ПМ-31мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ВИКОРИСТАННЯ ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. Стаття присвячена аналізу переваг використання веб-технологій для візуалізації даних у неруйнівному контролі. Розглянуто важливість візуалізації результатів, принципи побудови архітектури веб-додатків з використанням сучасних технологій для ефективної обробки великих обсягів даних. Також обговорено підходи до масштабування додатків та додавання нового функціоналу з підтримкою різних пристроїв.

Ключові слова: неруйнівний контроль, візуалізація даних, веб-технології, архітектура додатків, масштабованість

ВСТУП

У сучасному світі неруйнівний контроль (НК) відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки та якості в різних галузях промисловості. Одним із важливих аспектів НК є візуалізація даних, отриманих під час контролю, що дозволяє фахівцям ефективно аналізувати результати та приймати обґрунтовані рішення. З розвитком веб-технологій з'являються нові можливості для покращення процесу візуалізації, особливо при роботі з великими обсягами даних [1-2].

У статті проведено аналіз важливості візуалізації результатів у неруйнівному контролі, розглянуто принципи побудови архітектури веб-додатків з використанням сучасних технологій, а також обговорено методи масштабування та додавання нового функціоналу для підтримки приладів та пристроїв від широкого спектру виробників.

РОЛЬ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ У НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Візуалізація даних є ключовим елементом у процесі неруйнівного контролю, оскільки вона дозволяє наочно представити результати вимірювань та полегшує їх інтерпретацію. Особливо це актуально для методів, які генерують великі обсяги складних даних, таких як ультразвуковий контроль.

Важливість візуалізації полягає у наступному :

- Графічне представлення даних допомагає швидше виявляти дефекти та оцінювати стан матеріалів. Це спрощує процес аналізу та прийняття рішень.
- Візуалізація дозволяє фахівцям більш точно визначати характер та розміри дефектів, що є критично важливим для безпеки та надійності конструкцій.
- Наочне представлення результатів полегшує обмін інформацією між різними учасниками процесу контролю, включаючи інженерів, менеджерів та замовників.

ПОБУДОВА АРХІТЕКТУРИ ВЕБ-ДОДАТКУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ

При розробці веб-додатку для візуалізації даних НК важливо правильно спроектувати його архітектуру, щоб забезпечити ефективну та швидку роботу із

великими обсягами даних. Проаналізувавши сучасні тенденції наведені в джерелах [1-3] основні принципи побудови такої архітектури включають:

Модульність та розподіленість:

При розробці додаток варто розділяти на окремі незалежні модулі (фронтенд, бекенд, база даних), це спрощує їх розробку та обслуговування. Окрім того хорошою практикою є використання мікросервісної архітектури, яка дозволяє розподілити навантаження та забезпечує гнучкість у масштабуванні додатку.

Використання сучасних технологій:

Для того щоб не блокувати основний потік при відправці запитів користувачем, варто використовувати асинхронні технології для відправки та обробки запитів, наприклад фреймворк Node.js [4-5]. Для того щоб було легко впроваджувати новий функціонал потрібно використовувати сучасні фреймворки, що мають підтримку масштабування, наприклад бібліотека ReactJS для фронтенду та фреймворк Express.js для бекенду.

Оптимізація роботи з даними:

Для оптимізації роботи з даними можна замінити стандартні бази даних по типу MySQL на ефективніші та швидші NoSQL бази даних, наприклад MongoDB.

Кешування:

Для того, щоб зменшити час доступу до часто використовуваних даних, можна впровадити механізми кешування, такі як Redis, або Memcached.

Обробка великих даних:

Для забезпечення високої ефективності при обробці великих обсягів даних використовують технології паралельної обробки даних.

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЙ У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ

Використання веб-технологій у візуалізації даних неруйнівного контролю надає низку переваг:

- **Універсальність та доступність:** Веб-додатки доступні з будь-якого пристрою, що має інтернет-з'єднання. Це дозволяє фахівцям отримувати доступ до даних та інструментів візуалізації у будь-який час та з будь-якого місця.
- **Підтримка різних форматів файлів:** Веб-технології дозволяють обробляти та візуалізувати дані з різних джерел, незалежно від формату файлів або виробника обладнання. Це усуває необхідність використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для кожного типу пристрою.
- **Інтуїтивний інтерфейс:** Сучасні веб-додатки можуть мати простий та зрозумілий інтерфейс, що полегшує роботу навіть для фахівців з мінімальним технічним досвідом.
- **Хмарне зберігання та резервування даних:** Дані автоматично зберігаються у хмарних сервісах, що забезпечує їх безпечне зберігання та доступність, а також спрощує процес резервного копіювання.

- Автоматизація процесів: Веб-додатки можуть автоматично обробляти дані та формувати звіти, що знижує трудомісткість процесу та мінімізує людський фактор.

ВИСНОВКИ

Візуалізація даних є критично важливою складовою неруйнівного контролю, оскільки вона дозволяє покращити розуміння та аналіз результатів, що сприяє підвищенню якості та безпеки. Використання веб-технологій у цій сфері надає значні переваги, включаючи універсальність, масштабованість, інтуїтивний інтерфейс та можливість спільної роботи.

Правильне проектування архітектури веб-додатку з використанням сучасних технологій та принципів масштабування забезпечує його гнучкість, продуктивність та можливість подальшого розвитку. Масштабованість та розширюваність додатку дозволяють швидко адаптуватися до нових вимог, додавати новий функціонал та підтримку різних пристроїв, що є важливим у швидкозмінному технологічному середовищі.

Перспективи використання веб-технологій у неруйнівному контролі включають покращення ефективності процесів контролю, зниження трудомісткості та відкриття нових можливостей для аналізу та управління даними. Це робить їх перспективним напрямком для подальшого розвитку у галузі неруйнівного контролю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Ejsmont, A. (2015). *Web Scalability for Startup Engineers*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
- [2]Albin, S. T. (2003). *The Art of Software Architecture: Design Methods and Techniques*. Hoboken, NJ: Wiley.
- [3]Григорик, І. (2017). *Проектування високопродуктивних веб-додатків*. Київ: Видавництво Старого Лева.
- [4]Прудченко А. Ю. Розробка аналіз фреймворку Ember.js для створення високопродуктивних веб-додатків / Прудченко Анна Юріївна, Спирінцев В. В., Ширін А. Л. // Тиждень студентської науки – 2023 : матеріали 78-ої студентської науково-технічної конференції (Дніпро, 24-28 квітня 2023 року). – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. – С. 382-384.
- [5]Node.js v23.3.0 documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://nodejs.org/docs/latest/api/>

Наук. керівник – к.т.н., Богдан Г.А.

УДК 378

Я.Д. Рудов, студент гр. ПМ-31мп, к.т.н., доц. Баженов В.Г.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ БОКОВИХ РАМ ВІЗКІВ ВАГОНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАГНІТНОГО МЕТОДУ

Анотація: Запропонована система контролю бічних рам візків вантажних вагонів спрямована на підвищення надійності та ефективності виявлення дефектів за допомогою магнітного методу контролю. Розроблений підхід використовує магніторезистивні датчики, здатні вимірювати напруженість магнітного поля у трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Таке рішення зменшує залежність від дорогого намагнічувального обладнання за рахунок використання пристроїв локального намагнічування, що значно скорочує час контролю. Експериментальні дослідження були проведені з використанням бічних рам з типовими дефектами, які продемонстрували ефективність системи. Крім того, подальша робота спрямована на розробку гнучкої магніторезистивної сенсорної матриці для збільшення покриття зони контролю та автоматизованого опитування датчиків.

Ключові слова: магнітна система контролю, бокові рами візків, магніторезистивні перетворювачі, неруйнівний контроль, локальне намагнічування, гнучка матриця, автоматизований контроль, дефекти конструкції.

ВСТУП

Залізничний транспорт є основним засобом перевезення вантажів, і його безпека залежить від надійності конструктивних елементів. Дефекти в бокових рамах візків, такі як непровари, поверхневі та підповерхневі тріщини, литтєві раковини та інші, можуть спричинити значні матеріальні збитки та становити загрозу для життя людей. Для запобігання аваріям необхідний своєчасний і точний контроль на ранніх стадіях виникнення дефектів. З цією метою розроблено макет магнітної системи контролю, що використовує матричний перетворювач на основі магніторезисторів. Це дозволяє значно скоротити час перевірки, відмовитися від дорогих систем намагнічування та підвищити надійність і точність результатів контролю.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Об'єктом контролю є бокові рами візків вантажних вагонів моделі 18-100. Їх конструкція включає горизонтальні та похилі пояси, колонки, середній отвір для центрального рессорного підвішування та буксові отвори на кінцях. Заштриховані області на рисунку 1 відповідають зонам обов'язкового проведення неруйнівного контролю.

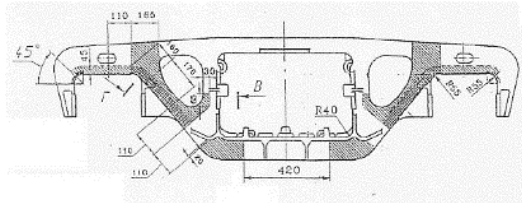


Рис. 1. Креслення бічної рами візка вантажного вагона моделі 18-100

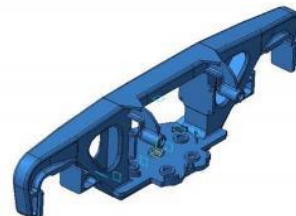


Рис. 2. 3D модель бічної рами візка вантажного вагона моделі 18-100

Наразі застосовуються два методи контролю бокових рам: магнітопорошковий та ферозондовий. Однак вони мають низку недоліків: Використання громіздких намагнічувальних установок, що ускладнює процес контролю та вимагає значних ресурсів. Підвищує вартість контролю та створює додаткові логістичні труднощі - Використання витратних матеріалів. На

достовірність результатів впливає кваліфікація персоналу: людський фактор може впливати на точність і достовірність результатів. Також ці методи потребують Тривалу підготовку до проведення контролю та документування контролю – це збільшує загальний час процесу та може призводити до затримок.

Ці недоліки знижують ефективність та надійність контролю, що підвищує ризик поломок залізничного складу під час експлуатації.

ЗАПРОПОНОВАНЕ РІШЕННЯ ЗАВДАННЯ

Концентрація розсіяного магнітного поля в області виникнення дефекту розглянута в [3]. Це поле залежить від характеристик дефекту та його розташування. Для реєстрації таких полів використовуються різні типи перетворювачів: ферозондові, на ефекті Холла, магніторезистивні та інші. Сучасний розвиток мікроелектроніки призвів до значного прогресу у виробництві магніторезисторів [4], які мають високу чутливість, компактні розміри та здатні надавати інформацію про три складові магнітного поля (X, Y, Z) у цифровому вигляді.

Для підвищення ефективності контролю та можливості роботи з об'єктами складної форми в низці досліджень було запропоновано використовувати матричні магнітні перетворювачі на основі магніторезисторів [6, 7]. Контроль бокових рам залізничних вагонів також можна здійснювати за допомогою перетворювача, виконаного у вигляді матриці з магніторезисторів, що дозволить повністю покрити зону контролю.

Закріплення такої матриці на поверхні гнучкого немагнітного матеріалу з певним кроком дає можливість ефективно контролювати поверхні складної геометрії [5]. Використання подібної матриці дозволяє проводити електронне сканування поверхонь без застосування складних механічних пристроїв. У даній статті представлено аналіз макета лінійної матриці магніторезисторів, виготовленого для експериментальних випробувань на бокових рамах.

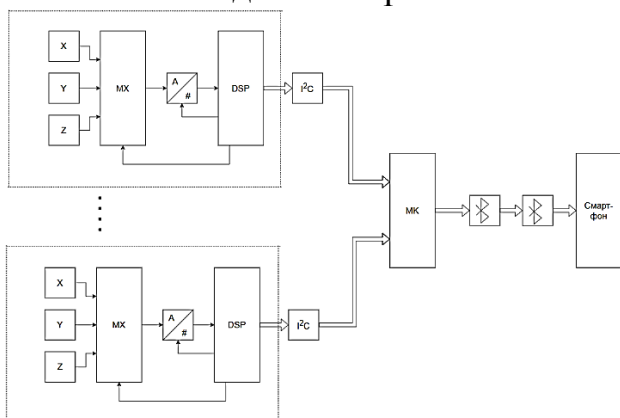


Рис. 3. Функціональна схема макета магнітної системи для контролю бокових рам візків залізничних вагонів

Функціональна схема макета магнітної системи наведена на рисунку 3. Функціональна схема магнітної системи контролю складається з двохрядної матриці, що містить 20 магніторезистивних перетворювачів, мікроконтролера та пристрою з необхідним програмним забезпеченням (наприклад, ноутбука, смартфона або планшета). Однак у даній роботі використовувався саме ноутбук.

Кожен магніторезистивний перетворювач складається з трьох магніторезисторів, кожен з яких налаштований на різну орієнтацію: X, Y та Z [8]. Кожен аналоговий сигнал від магніторезистора надходить через мультиплексор на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП), що з'єднаний з вбудованим процесором. Таким чином,

процесор по черзі здійснює цифрове вимірювання компонент напруженості магнітного поля за напрямками X, Y та Z. Цифровий вихідний сигнал від кожного магніторезистивного перетворювача передається безпосередньо на мікроконтролер через шину I²C, яка забезпечує обмін даними між датчиками і мікроконтролером. Далі сигнал обробляється мікроконтролером, після чого дані передаються на ноутбук через Bluetooth-канал.

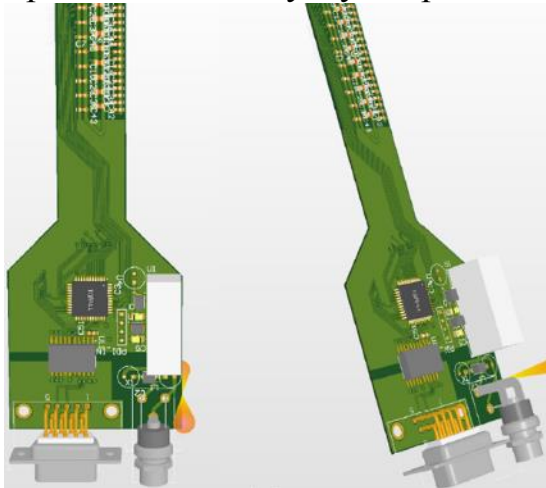


Рис. 4 Макет матриці перетворювачів, розроблений у програмному середовищі Altium Designer.

У середовищі Altium Designer виконано трасування друкованої плати та створено 3D-модель друкованої плати матричного перетворювача, що показана на рисунку 4.

Матричний перетворювач, представлений на рисунку 4, використовує в своїй основі магніторезистори типу MMC5603NJ. Ці магніторезистори мають компактні розміри 0,8x0,8x0,4 мм, високу чутливість до 0,00625 мкТл та здатні проводити вимірювання напруженості магнітного поля в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (X, Y, Z). Ці характеристики датчиків роблять їх

придатними для використання в матричних перетворювачах.

З використанням програмного пакету LabVIEW, створено програму для реєстрації змін напруженості магнітних полів. Інтерфейс програми показано на рисунку 4.

Дана програма містить два графіки для візуалізації вимірюваних параметрів. Верхній графік призначений для відображення градієнту напруженості магнітного поля, яке реєструється першим магніторезистивним перетворювачем у часовій області, аналогічно до функціонування самописця. Використання режиму "автошкали" забезпечує автоматичне масштабування графіку з метою відображення максимальних значень як за часовими характеристиками, так і за амплітудою, що дозволяє ефективно демонструвати результати вимірювань на будь-якому часовому відрізку.

Другий графік надає можливість візуалізації миттєвих амплітудних значень, отриманих від кожного магніторезистивного перетворювача. Ось X представляє нумерацію, що відповідає позиціям датчиків уздовж лінійки, тоді як на осі Y відображаються амплітудні значення для трьох взаємно перпендикулярних компонент: X, Y, Z. Значення між датчиками апроксимовано з використанням

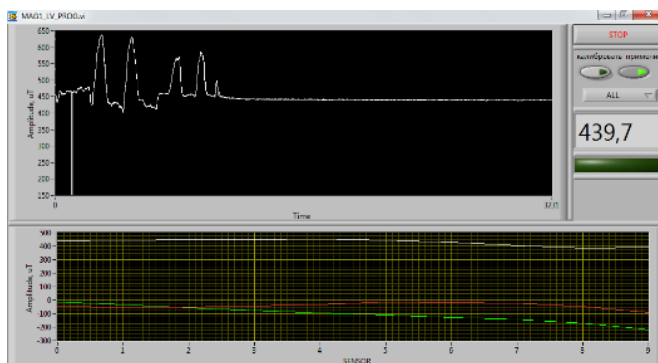


Рис. 4. Інтерфейс програми для обробки даних у програмному середовищі LabVIEW

лінійної апроксимації для підвищення наочності представлення. Додатково є можливість виводу результуючих амплітудних значень, отриманих на основі показників кожної компоненти.

У правій частині інтерфейсу передбачена кнопка калібрування, яка дозволяє підвищити точність вимірювань шляхом вирівнювання початкових показників кожного датчика. Це забезпечує більш наочне представлення змін градієнтів магнітного поля при переміщенні лінійної матриці датчиків. Крім того, у верхньому правому куті розташовано цифровий індикатор, що показує поточне значення напруженості магнітного поля, зареєстроване першим датчиком.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження магнітної системи контролю проводилися на бокових рамах візків вантажних вагонів, що містили типові дефекти. На рисунку 5 показано поверхневу тріщину в елементі конструкції бокової рами.



Рис. 5. Поверхнева тріщина в конструктивному елементі бокової рами



Рис. 6. Магнітопорошковий дефектоскоп МД-4К

Локальне намагнічування проводилося за допомогою дефектоскопа МД-4К, який створює напруженість магнітного поля на полюсах 1000 А/м.

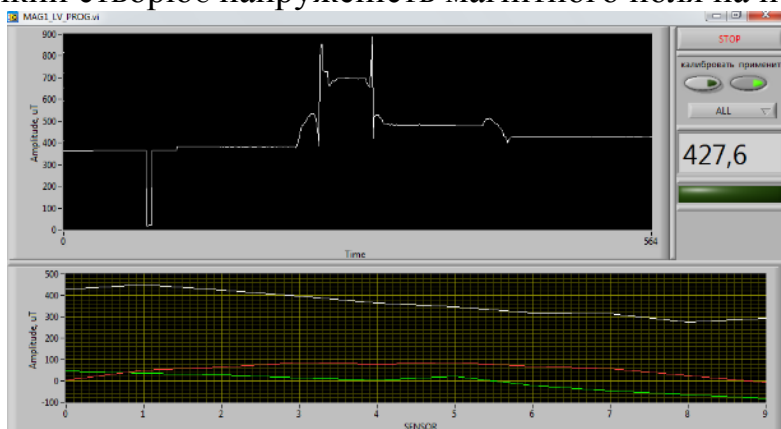


Рис. 7. Напруженість магнітного поля під час сканування лінійним магнітним перетворювачем над зоною поверхневого дефекту.

Перший експеримент було здійснено при прямому контакті матричного перетворювача з об'єктом контролю.

На рисунку 7 чітко видно, що при скануванні бокової рами лінійним магнітним перетворювачем, під час проходження над дефектом, напруженість магнітного поля значно зростає. Піки на графіку

позначають моменти, коли перший датчик перетинає зону дефекту. Два піки з'являються через те, що сканування виконувалося спочатку в прямому напрямку, а потім — у зворотному. Градієнт поля, який було зафіксовано, становить приблизно 500 мкТ.

Після цього було здійснено другу серію вимірювань. Цього разу матричний

магнітний перетворювач не контактував з боковою рамою, а був віддалений від неї. Результати цих вимірювань наведено на рисунку 8.

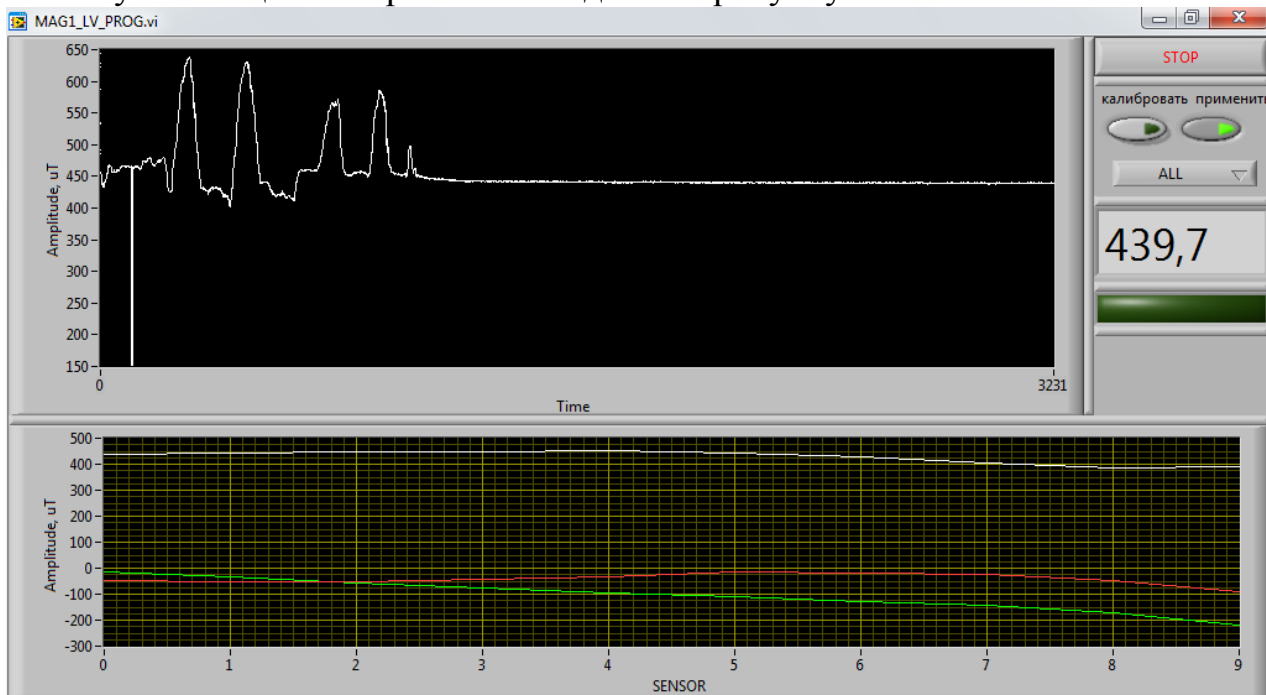


Рис. 8. Напруженість магнітного поля під час сканування магнітним перетворювачем над зоною поверхневого дефекту з відривом спочатку на 5 мм та 10 мм.

З аналізу рисунку 8 можна зробити висновок, що при скануванні дефектної області спостерігається різке зростання градієнта магнітного поля. На верхньому графіку перші два піки відображають ситуацію з відривом на 5 мм від об'єкта контролю, а наступні два — відрив на 10 мм. У випадку з відривом на 5 мм градієнт склав 200 мкТ, а при відриві на 10 мм — 150 мкТ. Зі збільшенням відстані між перетворювачем і об'єктом, градієнт поступово знижувався, наближаючись до нуля.

ВИСНОВКИ

Розроблена система контролю дозволяє замінити дорогі намагнічувальні пристрої на локальні прилади для намагнічування, що значно спрощує процес. Використання магніторезистивних перетворювачів, які можуть проводити вимірювання у трьох взаємно перпендикулярних координатах, підвищує чутливість та надійність результатів контролю, а також зменшує час, необхідний на проведення вимірювань. У подальших розробках планується створення гнучкої матриці на основі магніторезисторів, яка забезпечить повне охоплення зони контролю та дозволить електронно опитувати кожен перетворювач окремо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] ОСТ 32.183-2001. Тележки двухосные грузовых вагонов колеи 1520 мм. детали литые. Рама боковая и балка надрессорная. – Введ. 01.04.2002, взамен ОСТ 24.153.08-78. – 26 с.
- [2] Charles J. Hellier Handbook of nondestructive evaluation. NY.: McGRAW-HILL, 2003. – 594p.

- [3] Шелихов Г. С. Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов. – М.: НТЦ “Експерт”, 1995. – 221 с.
- [4] Бараночников М. Л. Микромагнитоэлектроника. Т.1, – М: ДМК Пресс, 2001. – 544с., ил.
- [5] Патент України на корисну модель №85040 МПК 27/83 (2006.01) Спосіб магнітного контролю/ Баженов В.Г., Галаган Р.М., Худецький М.В., Грузін С.В; Заяв. 11.06.2013. Опубл 11.11.2013 бюл. №21
- [6] W. Sharatchandra Singh, B. P. C. Rao, S. Thirunavukkarasu, and T. Jayakumar “Flexible GMR Sensor Array for Magnetic Flux Leakage Testing of Steel Track Ropes”. – Hindawi Publishing Corporation, Journal of Sensors, Article ID 129074, 2012. – 6 p.
- [7] Carl H. Smith, Robert W. Schneider “Chip-size magnetic sensor arrays”. – NVE Corporation, prepared for Sensors EXPO, 2002. – 8p.
- [8] General magnetic field sensors. Data sheet. – Philips, 1998. – 58 pages.

Наук. керівник – к.т.н., доцент. Баженов В.Г

УДК 681.518.5

О.В. Чеберяк, студент гр. ПМ-11
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АРТЕРІАЛЬНОГО ТИСКУ

Анотація. У статті викладено інформацію стосовно ефективності використання ультразвукового випромінювання для проведення вимірювання та добового моніторингу, проведено порівняння із наявними широковживаними методами та наведено ситуації для перспективного застосування цього методу на практиці.

Ключові слова: ультразвук, артеріальний тиск, моніторинг, неінвазивний метод.

ВСТУП

Сьогодні ультразвуковий неруйнівний контроль широко застосовується як для оцінки стану різних матеріалів, так і в медицині для діагностики біологічних тканин. За допомогою ультразвуку проводять діагностику життєво важливих органів, спостерігають за розвитком окремих біологічних систем та контролюються процеси транспортування чи навіть всмоктування речовин, зокрема лікувальних. Ефективність ультразвукових методів оцінюється з точки зору витрат (енергії, часу, ресурсів) та отриманих результатів. Оскільки ультразвук нешкідливий для організму, його широко використовують для діагностики різних захворювань. Перспективним напрямком розвитку ультразвукової діагностики є резонансна сонометрія. Цей метод демонструє значний потенціал для використання в медичних цілях.

МЕТА РОБОТИ

Збереження здоров'я вимагає ранньої діагностики та контролю захворювань. Артеріальна гіпертензія, яка вражає близько 35% населення, є одним з основних факторів ризику серцево-судинних захворювань. Частка смертей від серцево-судинних захворювань серед звичайного населення нашої країни перевищує 60% [1]. Тому розробка ефективних методів моніторингу артеріального тиску є надзвичайно важливою для збереження життя та здоров'я людей.

Основним неінвазивним методом, прийнятим до використання у повсякденні та для добового моніторингу сьогодні є метод Короткова, або аускультативний метод за допомогою тонометра та базується на принципі перетискання артерії манжетною. Це створює певний дискомфорт від часу вимірювання, а у випадку спостерігання протягом доби монітором – інколи й біль, особливо у випадку артеріальної гіпертензії. Застосування технології допускається лише залежно від типу манжети, тобто, до прикладу, за умови необхідності провести виміри на стегновій чи навіть сонній артеріях проведення вимірювань буде неможливим.

Існують ще інвазивні методи, такі як катетеризація артерій, але вони, хоча і забезпечують точні дані, мають ряд суттєвих недоліків. Під час введення катетера в судинну систему людини, вона переживає стресовий стан у зв'язку з порушенням цілісності покриття чи відповідної ділянки. Також існує ризик ускладнень, таких як інфекція, кровотеча та алергічні реакції, а для певних

категорій пацієнтів, наприклад, з порушеннями згортання крові, інвазивні методи можуть бути протипоказані. Тому актуальним завданням сучасної медицини є розробка неінвазивних методів вимірювання артеріального тиску, які були б безпечними, точними та зручними для пацієнта.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Апарати ультразвукової діагностики розвивалися протягом більш як сімдесяти років та змогли досягти стану, коли проведення обстежень вимагає лише рекомендаційних настанов щодо використання, тобто проводиться виключно за принципами ALARA («as low as reasonably achievable», що має на увазі «настільки мінімальними, наскільки це можливо для досягнення необхідної мети»). Параметри таких апаратів виставляються автоматично та відповідно до режиму використання, з урахування ділянок обстеження, налаштовують режим роботи під тип перетворювача тощо. Точність перетворювачів для сучасних апаратів дозволяє виявити досить дрібний розмір елемента чи патології.

Відомо, що інтенсивність випромінювання ультразвукових хвиль в неперервному режимі не має перевищувати $5 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$, в імпульсному – $10 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$, але у певних випромінювачів інтенсивність, що є допустимою та може спостерігатися, утричі вища. Ранжування частотних значень для перетворювача нелінійного типу для глибинного сканування складає від 2 до 5 МГц, а для лінійного – від 3 до 12 МГц [2].

Для генерації випромінювання такого рівня та підтримки інших модулів, зокрема мережевих або оброблювальних, достатньо потужності в межах від кількох мВт до Вт, проте виробники не вказують істинної споживчої потужності [3, 4].

Розрахунки коефіцієнта корисної дії підтверджують припущення щодо важливості збереження перехідного шару та високу здатність до результативної діагностики. Для такої системи випромінювальний елемент може працювати на базовій частоті в 2 МГц та містити додатково драйвер та схему аналізу огинаючого сигналу (детектор). Перетворювач може бути виконаний з п'єзо пластини, та бути поєднаним з блоком опрацювання сигналу, в якому міститься стабілізатор сигналу, драйвер та силові ланцюги. Відомі системи на практиці мають 5 Вт потужності на відстані 10 мм в середині ОК, що відповідає 83% ККД. При збільшенні відстані до 70 мм для середовищ рідкого типу система передає 29 мкВт, де, відповідно, ККД становить 1% [5].

Крім того, тестування проводилось і у воді, де на робочій частоті 243 кГц коефіцієнт корисної дії досягнув 55% на відстані тих же 10 мм, а зі збільшенням відстані знижувався до 35%. Частота 290 кГц у тканинах продемонструвала показники 21% на відстані 23 мм та 6,5% на 34 мм, а для частоти 250 кГц перетворювач видавав вихідна потужність 2,6 мВт із ККД 18%. Врешті після ширшого обстеження поведінки за експериментальних умов максимальний коефіцієнт корисної дії становив 76% на робочій відстані 40 мм при вихідній потужності 115 мВт, а мінімальний ККД становив 0,13% на відстані 10 мм при вихідній потужності 65.7 мкВт і частотою роботи 50 МГц [5].

Одним із основних обмежень широкого застосування ультразвукових приладів для моніторингу артеріального тиску донедавна була їхня висока вартість та необхідність використання стаціонарних, громіздких установок. Такі прилади часто вимагали спеціальних умов експлуатації та не дозволяли проводити дослідження поза межами обладнаних кабінетів. З плином часу прилади за своїми розмірами нагадували ноутбуки, а вже сучасні ультразвукові датчики – портативні та працюють від акумулятора та можуть підключатися до смартфонів або планшетів. Завдяки використанню літій-іонних акумуляторів ємністю близько 6000 мАг, такі пристрої забезпечують до 4 годин автономної роботи, що дозволяє проводити тривалі дослідження без необхідності постійного підключення до електромережі. Важливою перевагою сучасних портативних ультразвукових систем є їхня простота у використанні. Для проведення дослідження зазвичай достатньо під'єднати датчик до мобільного пристрою та виконати кілька простих налаштувань [3].

Варто зазначити, що постійне безперервне вимірювання артеріального тиску протягом чотирьох годин не завжди є необхідним. Наприклад, при добовому моніторингу достатньо проводити вимірювання з певною періодичністю, скажімо, раз на годину. Такий режим роботи аналогічний до принципів функціонування традиційних приладів для добового моніторингу артеріального тиску, які використовують манжету та аускультативний метод.

Традиційні прилади для вимірювання артеріального тиску, які використовують манжету, зазвичай живляться від двох лужних батарейок типу АА, чого достатньо для приблизно 48 годин автономної роботи. Принцип роботи таких приладів передбачає періодичне накачування манжети для вимірювання тиску, причому одне вимірювання триває близько 2 хвилин, а весь цикл - накачування, вимірювання, здування манжети - займає трохи більше часу. Таким чином, за 48 годин прилад може виконати близько 96 вимірювань. Порівняно з ультразвуковими приладами, які забезпечують безперервний моніторинг, традиційні прилади з манжетою проводять вимірювання періодично, що дозволяє їм працювати триваліший час на одному комплекті батарей.

Варто зазначити, що для визначення артеріального тиску за допомогою ультразвуку не потрібна велика кількість окремих випромінювачів. Це відкриває широкі можливості для подальшої оптимізації системи, зокрема, зменшення енергоспоживання при збереженні високої точності вимірювань. Хоча перші прототипи таких пристроїв вже продемонстрували свою ефективність, особливо при вимірюванні на сонній артерії, потенціал для вдосконалення ще не вичерпано. Зокрема, перспективним напрямком досліджень є розробка більш потужних та енергоефективних систем, які дозволять проводити вимірювання на різних судинах, таких як стегнова та плечова артерії [6].

Однією з основних проблем, що стримували широке застосування ультразвукових датчиків у подібних засобах, була їхня недостатня стійкість до зовнішніх впливів, зокрема, до солей, що містяться в поту. Крім того, датчики часто піддавалися впливу вібрацій та механічних навантажень під час використання. Для розв'язання цих проблем необхідно використовувати спеціальні контактні гелі, які забезпечують не лише акустичний контакт між

датчиком і шкірою, але й захищають датчик від пошкоджень. Ці гелі створюють тонкий шар, який запобігає проникненню поту та інших забруднень до поверхні датчика. Як правило, одного тюбика гелю достатньо для проведення кількох процедур, залежно від розміру датчика та площі контакту.

ВИСНОВКИ

Новий підхід до вимірювання за допомогою ультразвуку демонструє значні переваги порівняно з традиційними методами, зокрема, завдяки своїй безпечності та ефективності. Ця технологія активно розвивається, спрямована на створення оптимальних умов для проведення досліджень. Оскільки ультразвукові датчики стають все більш доступними, їхнє використання в медичних закладах для моніторингу стану пацієнтів значно розширилося. Цей метод дозволяє проводити неінвазивні дослідження без шкоди для здоров'я пацієнта. Однак, широке застосування ультразвукових приладів у домашніх умовах поки що ускладнене високою вартістю обладнання, яка обумовлена складністю технології та необхідністю використання високоякісних компонентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Центр громадського здоров'я МОЗ України, «Вбивця XXI століття: як вберегтися від серцево-судинних захворювань?» Державна установа «Центр громадського здоров'я Міністерства охорони здоров'я України», 09 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://phc.org.ua/news/vbivcya-xxi-stolittya-yak-vberegtisya-vid-sercevo-sudinnikh-zakhvoryuvan>.
- [2] Сучасні тенденції в електроакустичних технологіях: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.А.Найда, Т.М.Желяскова. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 275 с..
- [3] ASUS Handheld Ultrasound Solution. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.asus.com/mobile-handhelds/wearable-healthcare/asus-handheld-ultrasound-solution/asus-handheld-ultrasound-solution/>.
- [4] GE HealthCare, "Vscan Air™ with Vscan Air CL probe," General Electric Company, 05 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.gehealthcare.com/-/jssmedia/gehc/us/files/products/ultrasound/vscan-air-cl-datasheet.pdf?rev=-1>.
- [5] R. V. Taalla, M. S. Arefin, A. Kaynak and A. Z. Kouzani, "A Review on Miniaturized Ultrasonic Wireless Power Transfer to Implantable Medical Devices," IEEE Access, vol. 7, pp. 2092-2106, 2019.
- [6] Jimenez Raymond, Yurk Dominic, Dell Steven, Rutledge Austin C., Fu Matt K., Dempsey William P., Abu-Mostafa Yaser, Rajagopal Aditya, Rajagopal Alaina Brinley, "Resonance sonomanometry for noninvasive, continuous monitoring of blood pressure," The National Academy of Sciences of the United States of America - PNAS Nexus, vol. 3, p. 252, 2024.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Лисенко Ю.Ю.

Секція 7.

Економічна ефективність використання систем біомедичного приладобудування та технологій

UDC 621.391.3

*V.V. Storozhenko*¹, *student of gr. PB-31m, k.e.s., Tymoshenko O. V.*²

¹ Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, ² DP "KYIVOBLSSTANDARTMETROLOHIIA "

AUTOMATED SYSTEM FOR REHABILITATION EFFECTIVENESS ASSESSMENT BASED ON MYOGRAPHIC PARAMETERS ANALYSIS

Abstract. The development of an automated system for rehabilitation effectiveness assessment based on myographic parameters analysis is presented. The system includes methods for bioelectric signals filtration, algorithms for quantitative parameters calculation, and recovery progress assessment. A comprehensive approach to data processing and analysis is proposed, allowing for objective evaluation of rehabilitation dynamics.

Keywords: electromyography, rehabilitation, automated assessment, biosignal processing, progress monitoring, bioelectric potentials.

INTRODUCTION

In the rehabilitation of patients with motor function disorders, objective assessment of recovery progress is critically important. Traditional assessment methods often rely on subjective observations, which does not allow for accurate tracking of recovery dynamics and timely adjustment of rehabilitation programs. An automated system for myographic parameters analysis helps solve this problem through quantitative assessment of muscle functional state.

MAIN STAGES OF SIGNAL PROCESSING

The system's operation is based on comprehensive analysis of electromyographic signal. During registration, the signal contains several components described by the mathematical model:

$$x(t) = s(t) + n(t) + a(t) \quad (1)$$

where $x(t)$ represents the registered signal, $s(t)$ - useful myographic signal, $n(t)$ - noise component, and $a(t)$ - motion artifacts [1].

To extract the useful signal, two-stage filtration is applied. First, motion artifacts are removed through an adaptive filter described by the equation

$$y(n) = x(n) - \sum(h(k) \cdot a(n-k)) \quad (2)$$

where coefficients $h(k)$ are automatically adjusted to minimize artifact influence [2]. The next stage is frequency filtration to isolate the diagnostically significant range from 20 to 500 Hz, implemented through the transfer function

$$H(f) = \frac{1}{1 + (\frac{f}{f_c})^{2n}} \quad (3)$$

Quantitative assessment of the muscular system state is based on diagnostic parameters calculation. The root mean square value characterizes the overall level of muscle activity. Integrated EMG reflects total electrical activity. The median frequency spectrum determines the level of muscle fatigue, and the muscle activity coefficient evaluates contraction ability [3].

AUTOMATED SYSTEM STRUCTURE

The hardware implementation is based on a high-precision signal registration unit with 1000 Hz sampling frequency and 16-bit ADC resolution. The preprocessing module includes an instrumental amplifier with gain of 1000 and analog filters system. Special attention is paid to the 50 Hz notch filter for power line interference removal [4].

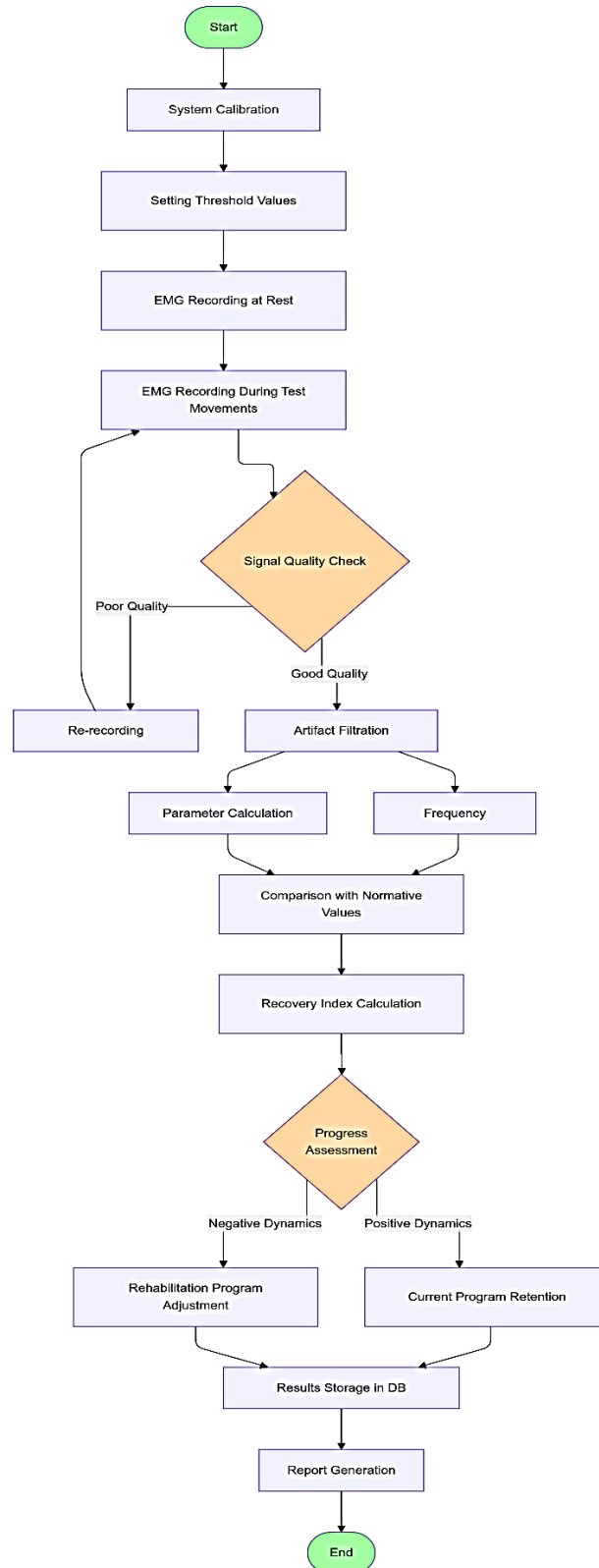


Figure. 1.1 Block diagram of the system operation algorithm

The software part implements digital signal processing algorithms, including adaptive artifact filtration and frequency analysis. An important component is the database that provides storage of normative indicators and measurement results archiving. The analysis and visualization module provides calculation of recovery indices and report generation.

SYSTEM OPERATION ALGORITHM

The assessment process begins with system calibration, during which threshold values are determined and filter coefficients are adjusted. Signal registration occurs in several stages: EMG recording at rest and during test movements. After filtration and parameter calculation, comparison with normative values is performed. Analysis results are used to calculate the recovery index and determine dynamics of changes [5].

MATHEMATICAL REPRESENTATION OF EVALUATION CRITERIA

The system uses a comprehensive approach to rehabilitation effectiveness assessment based on three main groups of indicators. The first group includes direct myographic parameters: EMG signal amplitude, which reflects muscle contraction strength; stability of frequency characteristics, showing neuromuscular transmission quality; and fatigue development dynamics, assessed through changes in signal median frequency during physical load.

The second group is represented by integral criteria. The function recovery coefficient is calculated as the ratio of patient's actual indicators to normative values, expressed as a percentage. The movement symmetry index is determined by comparing indicators between left and right body sides, which is especially important in unilateral lesions.

The third group includes statistical indicators. Variability assessment is based on analysis of indicator value dispersion during a series of similar movements. Results prediction is carried out based on analysis of indicator changes dynamics during rehabilitation course, considering patient's initial state and function recovery rate.

CONCLUSION

Theoretical foundations and structure of an automated system for rehabilitation effectiveness assessment have been developed. The proposed methods and algorithms provide comprehensive analysis of myographic indicators and objective assessment of recovery progress. Further work is aimed at practical implementation of the system and its experimental testing. Implementation of the developed system will provide objective assessment of rehabilitation process, automation of data collection and analysis, optimization of rehabilitation programs, and formation of a unified database for further research in rehabilitation medicine.

REFERENECES

- [1] Merletti R., Parker P., Johnson K. Design and implementation of advanced EMG processing systems, XV International Conference on Biomedical Engineering "Modern Approaches in Rehabilitation", 15-16 April 2024, IEEE Press, pp. 145-148. <https://doi.org/10.1109/MBEC.2024.123456>

- [2]Chen X., Wang Z., Thompson M. Advanced Processing Methods for Myoelectric Signals in Rehabilitation, *Journal of Biomedical Engineering*, Vol. 45, No. 3, 2023, pp. 234-249. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomeng.2023.02.015>
- [3]Anderson K.L., Smith R.B. Monitoring Systems in Physical Rehabilitation: A Comprehensive Review, *Clinical Biomechanics*, Volume 38, Issue 4, 2023, pp. 567-582. [https://www.clinbiomech.org/article/S0268-0033\(23\)00123-4](https://www.clinbiomech.org/article/S0268-0033(23)00123-4)
- [4]Zhang M., Li K., Roberts J. Quantitative Assessment Methods in EMG-based Rehabilitation Systems, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol. 32, No. 2, 2024, pp. 89-102. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2024.789012>
- [5]Williams K., Chen M., Davies A. Modern Approaches to Rehabilitation Monitoring: EMG Analysis and Pattern Recognition, *Medical Engineering Review*, Volume 12, Issue 2, 2023, pp. 178-195. <https://doi.org/10.1007/medeng.2023.45678>

Sciences. Supervisor – Ph.D., Assoc. Prof. Stelmakh N.V.

УДК 615.84: 615.032

М.І. Борута, студент гр. ПБ-з31мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

УЛЬТРАЗВУКОВА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА МЕДИЧНА СИСТЕМА

Анотація. В статті представленні результати розробки ультразвукової комп'ютерно-інтегрованої медичної системи (УКІМС) та досліджені залежності впливу параметрів інтенсивності, тривалості дії ультразвукових коливань на значення глибини проникнення різнотипних лікарських розчинів в окремі шари біологічних тканин. Запропонована нова структура завадозахищеної, дистанційно керованої моделі УКІМС. По результатам досліджень визначена математична залежність, та встановлена аналітична модель взаємодії ультразвуку з біологічною тканиною, що дозволила точніше встановлювати час проведення дослідної процедури та отримати показники проникнення різних медичних розчинів в глибину біосередовища. Ціллю даного дослідження являється доскональне вивчення неінвазивного методу проникнення медичних речовин в біологічну тканину за допомогою зовнішнього впливу ультразвуку на біоструктуру, так як дані технології абсорбції з глибинним проникненням є більш безпечними, доскональшими і ефективними, та комфортні для пацієнтів.

Ключові слова: тканинний фонофорез, ультразвукові коливання, глибини проникності, трансдермальне введення ліків.

ВСТУП

На сучасному етапі застосування ультразвукових (УЗ) коливань у поєднанні з лікарськими засобами (ЛЗ) залишається досить актуальним методом лікування у терапії та косметології. Завдяки дослідженням, які підтвердили ефективність абсорбції ЛЗ в біологічні тканини (БТ) під впливом УЗ коливань доведено здатність ультразвуку покращувати глибину проникності та активувати дифузійні процеси[1]. Збільшення проникності шкіри та посилення дифузії через дію УЗ хвиль, а також стимуляція регенерації шкіри та фізіологічних процесів в організмі вважаються базисом для використання УЗ з метою транспортування ліків через шкіру або слизові оболонки з збереженням їх цілісності та підвищення ефективності введення ліків [2]. Ультразвук розглядаються як фізичний каталізатор, стимулюючий біофізичні, біохімічні та фізико-хімічні реакції та процеси[3].

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є проведення досліджень з використанням ультразвукової комп'ютерно – інтегрованої медичної системи, яка здатна генерувати ультразвукові коливання різної частоти, інтенсивності, форми сигналу і тривалості імпульсів, що надає можливість оцінити їх вплив на глибину проникнення лікарських засобів у біологічні тканини за визначений час[4]. Використання цієї методики дає змогу досягти досить високої концентрації препарату в визначеній локалізованій ділянці, що є досить ефективною дією, коли потрібно забезпечити тривале, більш поглиблене введення лікарського засобу в біологічні тканини з метою отримання позитивного та якісного терапевтичного ефекту[5].

СТРУКТУРА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ МЕДИЧНОЇ СИСТЕМИ

Проаналізувавши та дослідивши дію ультразвукових коливань на біологічну тканину та процеси проникнення медичних рідин (МР) в біологічні тканини, була запропонована нова структура ультразвукової комп'ютерно-

інтегрованої медичної системи (рис.1), яка дозволила максимально автоматизувати процеси трансдермального введення МР в БТ.

Структура УКІМС складається з системи випромінювання з датчиками та блок управління, контролю та індикації, до якого підключені всі функціональні компоненти комплексу. Цей блок здійснює обробку всіх отриманих даних від елементів зчитування інформації, які передають сигнали через зворотний зв'язок, а також задає параметри впливу на біологічні тканини.

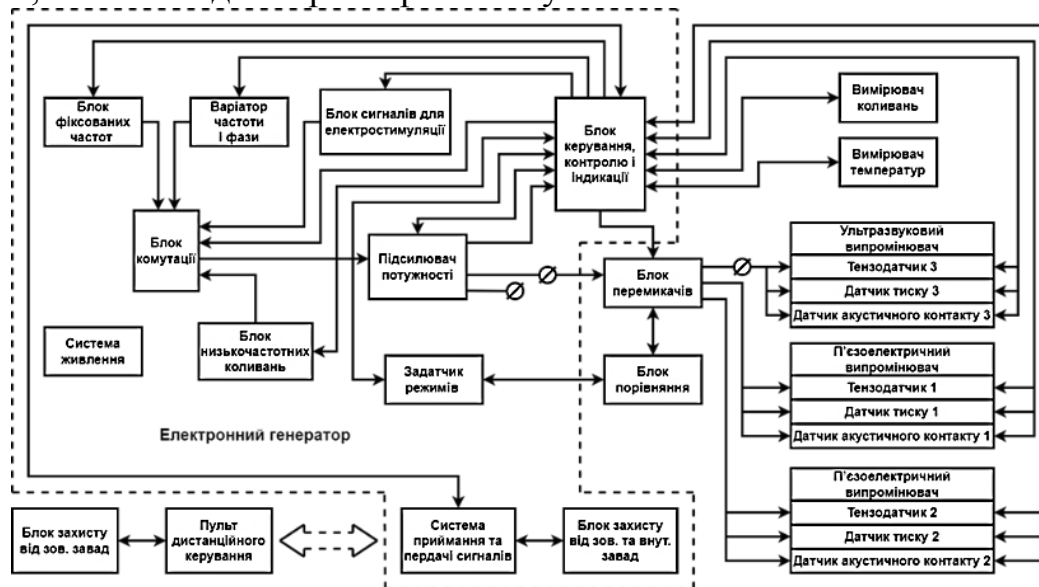


Рис. 1. Структурна схема ультразвукової комп'ютерно-інтегрованої медичної системи

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ УЛЬТРАЗВУКУ З БІОСЕРЕДОВИЩЕМ

В механізмі проникнення лікарських препаратів через шкіру є унікальним і відрізняється від проникності мембран, оскільки шкіру можна розглядати як комплексну мембранну структуру, що містить мономолекулярні шари, товсті шари різних клітин і міжклітинні простори зі складними сполуками [6].

Досліджена математична модель дії ультразвуку на БТ та розроблена методика експерименту та проведений порівняльний аналіз результатів експерименту глибинного проникнення МР у біосередовище в залежності від значень параметрів ультразвуку.

Математичну закономірність взаємодії ультразвукових коливань з біологічною тканиною ґрунтується на законі Фіка, який можна представити в вигляді[7]:

$$l(\tau) = -\frac{\tau}{t} \cdot \ln\left(1 - \exp\left(\frac{\left(\frac{P^2}{2\rho v}\right) \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{(u_k + u_{Na})}{(u_k - u_{Na})}\right)\right), \quad (1)$$

де $l(\tau)$ - залежність значення товщини l мембрани від сталої τ часу для відновлення мембрани, P – звуковий тиск, [Па]; I - інтенсивність ультразвукової хвилі, [Вт/м²]; v – швидкість ультразвуку, [м/с]; ρ – густина середовища, [кг/м³]; t – час дифузії в мембрані (пропорціональна часу випромінювання), [с]; R – універсальна газова стала, F – стала Фарадея, $T(\tau)$ – температура, u_k , u_{Na} - потенціали концентрації іонів калію і натрію.

Проведемо перетворення рівняння (1), помінявши містами час t дифузії та товщину l мембрани

$$t = -\frac{\tau}{l(\tau)} \cdot \ln\left(1 - \exp\left(\frac{\left(\frac{p^2}{2\rho v}\right) \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{(u_k + u_{Na})}{(u_k - u_{Na})}\right)\right) \quad (2)$$

Враховуючи, що глибина проникнення

$$h = t\alpha, \quad (3)$$

де α - швидкість дифузії.

Підставивши рівняння (3) в рівняння (2) отримаємо

$$\frac{h}{\alpha} = -\frac{\tau}{l(\tau)} \cdot \ln\left(1 - \exp\left(\frac{\left(\frac{p^2}{2\rho v}\right) \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{(u_k + u_{Na})}{(u_k - u_{Na})}\right)\right) \quad (4)$$

Перенесемо α - швидкість дифузії в праву частину рівняння, отримуємо математичну модель залежності глибини h проникнення лікарського розчину в біологічну тканину від параметрів ультразвуку

$$h = -\frac{\tau}{l(\tau)} \alpha \cdot \ln\left(1 - \exp\left(\frac{\left(\frac{p^2}{2\rho v}\right) \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{(u_k + u_{Na})}{(u_k - u_{Na})}\right)\right) \quad (5)$$

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТУ

Задану мету досягнуто шляхом визначення залежності між часовими інтервалами та глибиною проникнення лікарських засобів (ЛЗ) в біологічні тканини (БТ), з урахуванням таких параметрів ультразвукових коливань, як частота, інтенсивність, тривалість впливу та форма сигналу.

Генерація ультразвукових коливань відбувалась за допомогою апарату для ультразвукової терапії «УЗТ-1.01Ф» та комбінованого фізіотерапевтичного апарату «МІТ-11».

Встановлено, що глибина проникнення ультразвукових хвиль у терапевтичному діапазоні насамперед залежить від частоти, часу впливу та властивостей (структури) біологічної тканини, на яку впливають ультразвукові хвилі.

Для перевірки ефективності методики було проведено серію експериментів на різних зразках біологічних тканин із застосуванням декількох лікарських засобів, зокрема розчинів зеленого брильянтового метіленового синього (С37Н34N2Na2O9S3), (С27Н34N2O4S), йоду (I₂) та метіленового синього (С37Н34N2Na2O9S3).

При проведенні експерименту в якості дослідного зразка біологічної тканини було обрано: сало (асоціюється з підшкірною жировою тканиною (ЖТ)), філе курки (асоціюватися з м'язовою тканиною)

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Під час експериментальних досліджень було отримані залежності глибини h проникнення ЛЗ від інтенсивності дії ультразвуку I та часу t і сформульовано такі висновки:

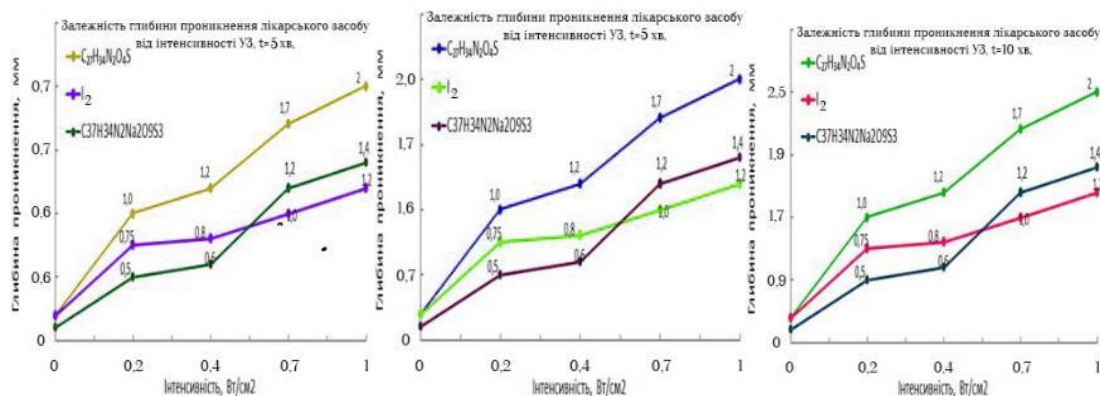


Рис. 2. Залежність глибини проникнення ЛЗ від інтенсивності УЗ, $t=5$ хв,

ВИСНОВКИ

Проаналізовані залежності глибини та часу введення медичних препаратів в біосередовище, а також протестовано та отримано оптимальні практичні формули, які дозволяють розрахувати найкращий рівень впливу ультразвукових сигналів на зміну проникності мембрани біологічної тканини під час пасивної дифузії молекул речовин обміну. Доведено, що глибина проникнення різних фармацевтичних препаратів залежить від інтенсивності ультразвуку і варіюється від 0,8 мм для розчину діамантового синього до 2,2 мм для розчину брильянтової зелені.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] 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
- [2] 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
- [3] Матвієнко С. М. Вплив процесів конвекції в рідині на похибку вимірювання теплопровідності методом прямого підігріву термістора / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, А. М. Матвієнко // Наукові вісті НТУУ КПІ. 2017. – № 4. – С. 121–130
- [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] Nakan I., Sema A. (2011). The design of ultrasonic therapy device via fuzzy logic. Expert systems with applications, 38, 7342-7348.
- [6] 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.
- [7] Nakan I., Sema A. (2011). The design of ultrasonic therapy device via fuzzy logic. Expert systems with applications, 38, 7342-7348.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

УДК 615.849.11

Б.С. Дейнеко, студент гр. ПБ-22, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНИХ АПАРАТАХ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТЕРАПІЇ

Анотація. Комп'ютерно-інтегрований ультразвуковий біомедичний комплекс (КІУБК) - це інноваційна медична система, яка призначена для забезпечення ефективного та безпечного застосування ультразвукової терапії в лікуванні різних видів захворювань та активної реабілітації пацієнтів. Головною метою цього проєкту є створення автоматизованої системи, яка спростить та поліпшить процедуру ультразвукової терапії, зробивши його більш доступним та ефективним, як для лікарів так і для пацієнтів.

Ключові слова: комп'ютерно-інтегрований комплекс, ультразвук, біосередовище, контроль параметрів температури.

ВСТУП

Ультразвук у медицині є одним із найпоширеніших та ефективних методів, який дозволяє діагностувати та лікувати різноманітні внутрішні захворювання без необхідності хірургічного втручання [1]. Зокрема, він успішно застосовується для терапії захворювань опорно-рухової системи, лікування спортивних травм, ревматичних захворювань та багатьох інших патологій [2]. Таке використання характеризується мінімальною інвазивністю, високою точністю та здатністю стимулювати відновлення пошкоджених тканин, що робить її важливим інструментом у сучасній медицині [3].

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЇХ ПРОБЛЕМИ

На сьогоднішній день медицина має велику базу методів та засобів ультразвукової терапії (ЗУТ), що дозволяє лікувати певні захворювання, без необхідності хірургічного втручання. Апарати ультразвукової терапії мають великий попит на ринку послуг охорони здоров'я та перспективи для розвитку в сучасній медичній практиці [4].

Але майже всі-вони стикаються з низкою проблем, таких як:

Складність налаштування та контролю параметрів.

У сучасних умовах проведення ультразвукової терапії потребує підвищеної уваги та ретельного контролю з боку медичного персоналу. Лікарі повинні індивідуально налаштовувати параметри терапії для кожного пацієнта, що є складним процесом, який вимагає значних зусиль і може супроводжуватися ризиком помилок [5].

Неоптимальні параметри терапії та часу процедур.

Визначення оптимальних параметрів ультразвукової терапії (інтенсивність I [Вт/см²], частота f [Гц], час процедури t [хв.]) для конкретного пацієнта не завжди є точним, що може знижувати ефективність лікування або навіть спричиняти небажані побічні ефекти.

Недостатня безпека та контроль.

Забезпечення безпеки пацієнтів під час ультразвукової терапії є критично важливим [6].

Недостатність ефективною системи моніторингу та автоматичного реагування на можливі надзвичайні ситуації може створювати серйозні ризики

для здоров'я пацієнтів.

Відсутність системи дистанційного керування.

Для покращення зручності та доступності ультразвукової терапії слід розробити систему дистанційного керування, яка надасть лікарям можливість віддалено здійснювати контроль за проведенням процедури[7]. Для вирішення цього ряду проблем, нами був розроблений комп'ютерно-інтегрований ультразвуковий біомедичний комплекс (КІУБК) (рис.1), який частково вирішує дані проблеми та має такі характеристики:

Адаптивність до потреб пацієнта: комплекс автоматично налаштовує параметри терапії залежно від індивідуальних потреб пацієнта та його реакції на лікування.

Висока точність: завдяки інтегрованим комп'ютерним технологіям забезпечується точне дозування інтенсивності ультразвуку, позиціонування ультразвукових хвиль та контроль ключових параметрів ультразвуку (інтенсивність $I [Вт/см^2]$, частота $f [Гц]$, час процедури $t [хв.]$) і функціонального стану пацієнта (температура T , артеріальний тиск, насиченість крові киснем).

Безпека та надійність: система автоматично регулює параметри ультразвукових коливань відповідно до реакції пацієнта, включаючи зміну температури, що гарантує безпечне проведення терапії.

Дистанційне керування: наявність пульта дозволяє лікарям віддалено контролювати роботу комплексу, підвищуючи зручність та ефективність його використання.

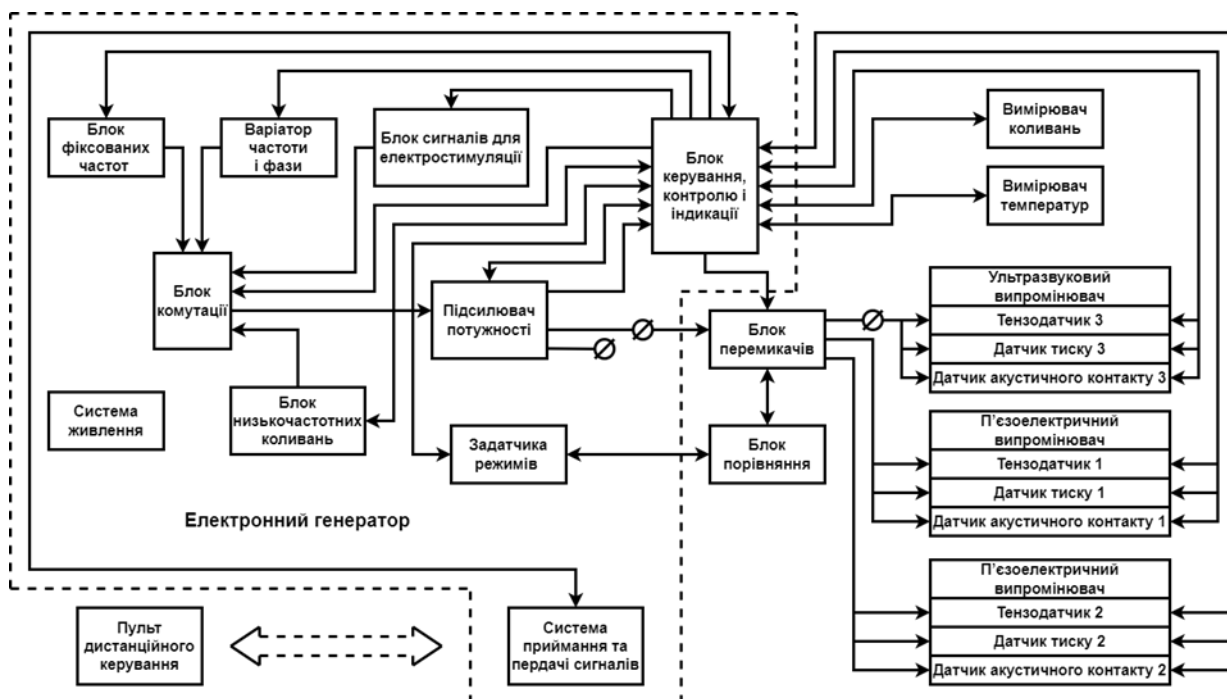


Рис. 1. Структура комп'ютерно-інтегрованого ультразвукового біомедичного комплексу

Алгоритм роботи КІУБК (рис.2) розпочинається з підключення до джерела живлення та активізації основних блоків апарату (мікропроцесорний блок керування, блок фіксованих частот, варіатор частоти і фази).

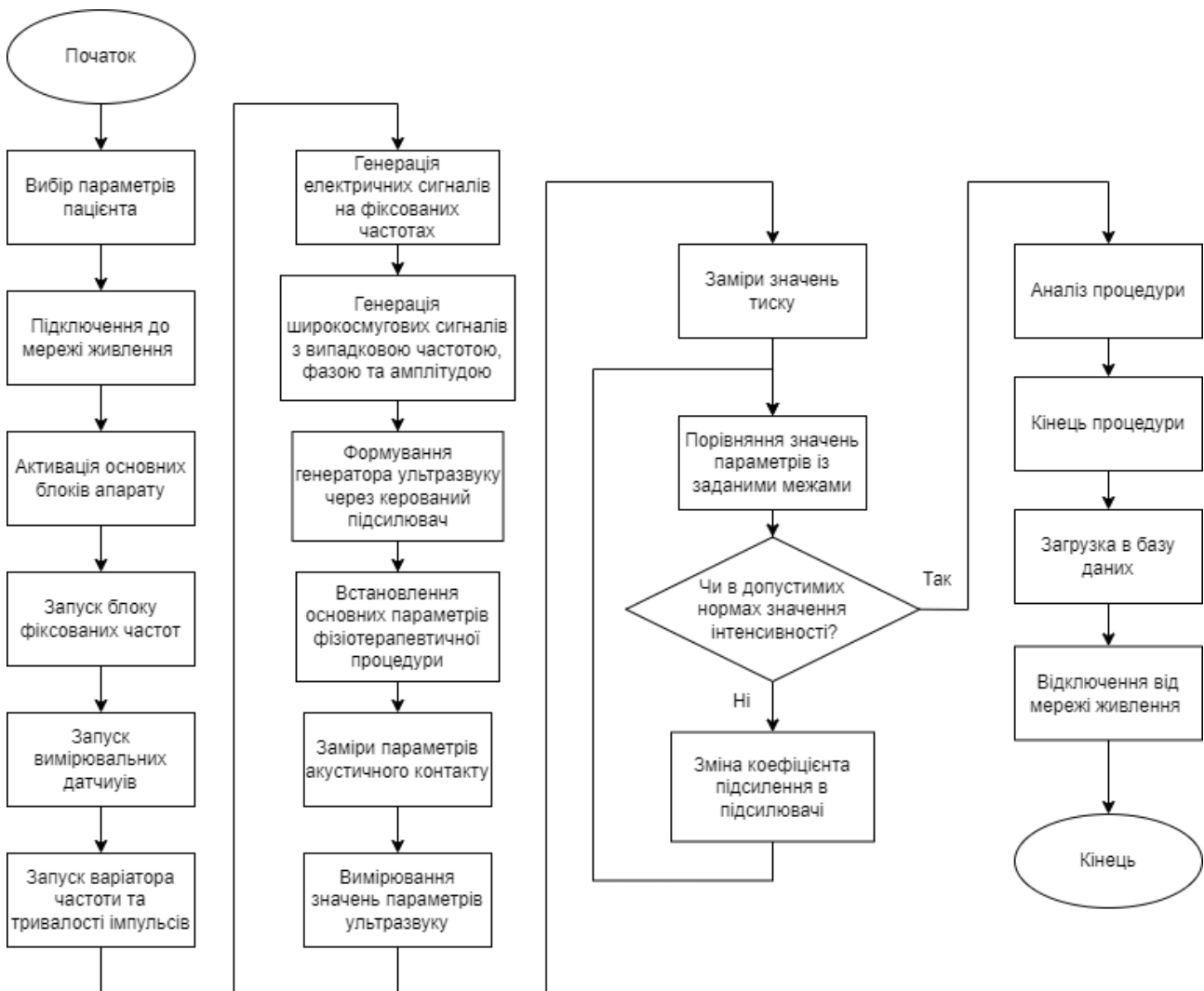


Рис. 2. Алгоритм роботи КІУБК

Ці блоки виконують наступні дії: запуск блоку фіксованих частот, запуск варіатора частоти і фази, генерація електричних сигналів на фіксованих частотах, генерація широкосмугових сигналів з випадковою частотою, фазою та амплітудою, формування генератора ультразвуку через керований підсилювач.

Наступним кроком є встановлення основних параметрів 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 Δt , його скважності, амплітуди коливань шару біологічної тканини A_{max} , температури T_{cp} (T_{max}) та її градієнтів ΔT .

Після, вимірюються значення параметрів акустичного контролю, ультразвуку та тиску, перевіряється чи в допустимих нормах значення інтенсивності. У разі, коли значення інтенсивності недостатні чи перевищує значення меж терапевтичних інтенсивностей, сигнал з блоку порівняння через блок перемикачів поступає на мікропроцесор блоку керування, контролю та індикації, де через виконавчі реєстри змінюється коефіцієнт підсилення в підсилювачі потужності, таким чином, щоб значення параметрів ультразвуку, що діє на біологічну тканину, було в заданих межах.

Важливими складовими роботи КІУБК є адаптація до конкретного пацієнта та врахування його фізико-фізіологічних особливостей – контроль параметрів

температури біологічної тканини (БТ), акустичного контакту з БТ, реакції організму на дії ультразвуку. Тензодатчики фіксують механічні коливання поверхні шкіри при проведенні фізіотерапевтичної процедури. Особливістю даного комплексу є можливість одночасного проведення і електричної стимуляції з дією ультразвукових коливань.

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. «Політехніка»,2018. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25501>.
- [2] A. Kyrylova and N. Tereshchenko, "Estimation of ultrasound influence on biological tissue," XIII International PhD Workshop OWD 2011, 2011, pp. 319-323.
- [3] М.Ф. Терещенко, А.В. Кирилова, “Оцінка впливу ультразвукового сигналу на біологічні тканини. Частина 1”, Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобудування, т. 39, с. 130-136, 2010.
- [4] Ter Haar G. Therapeutic applications of ultrasound. Prog Biophys Mol Bioi 2007; 93:111-29.
- [5] G. Tymchik, M. Tereshchenko, O. Lyashenko, O. Gnateyko, “Research of the influence of laser radiation on temperature processes in biological tissues”, Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak., is. 49(1), pp. 153-158, 2015.
- [6] 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
- [7] Лепіх Я. І. Прикладна акустика в медицині : Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./ Я. І. Лепіх; Одес. нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. -О.: АстроПринт, 2005.- 206 с

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

УДК 616-71:004.94

С.О. Дуга, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., ст. викл. Велигоцький Д.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

НЕІНВАЗИВНЕ ВИМІРЮВАННЯ ГЛЮКОЗИ В КРОВІ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЇ

Анотація. У роботі представлено результати дослідження неінвазивного вимірювання рівня глюкози в крові людини за допомогою аналізу сигналів фотоплетизмографії на трьох довжинах хвиль: 568 нм, 660 нм та 940 нм. Для вирішення поставленої задачі було використано методи машинного навчання, зокрема 11 різних моделей. Було оцінено ефективність кожної моделі, і найкращі результати продемонстрували три алгоритми: Random Forest, Gradient Boost та XGBoost.

Ключові слова: фотоплетизмографія, глюкоза, неінвазивне вимірювання, машинне навчання, Random Forest, Gradient Boost, XGBoost.

ВСТУП

Діабет є однією з основних причин смертності у світі. За даними досліджень, очікується, що глобальна поширеність діабету зросте з 171 мільйона випадків (2,8% населення) у 2000 році до 366 мільйонів (4,4%) у 2030 році серед усіх вікових категорій [1]. Це свідчить про те, що діабет є серйозною глобальною проблемою, яку можна уповільнити або попередити за допомогою регулярного контролю рівня глюкози в крові [2]. Люди, які страждають на діабет, змушені регулярно контролювати рівень глюкози в крові, використовуючи глюкометри, що передбачає болючу процедуру проколювання пальця. Впровадження неінвазивних методів вимірювання рівня глюкози здатне значно спростити моніторинг і покращити якість життя пацієнтів.

Неінвазивні методи визначення рівня глюкози, вивчені останніми роками, можна згрупувати відповідно до їхніх технологій. В основному вони належать до категорії датчиків електромагнітних (ЕМ) хвиль, трансдермальних і ферментативних [3, 4]. До ЕМ-зондування відноситься неіонізуюче ЕМ-випромінювання, а саме ультрафіолетове, інфрачервоне, мікрохвильове та видиме світло. Останні роботи в літературі показують високу точність прогнозування рівня глюкози в крові за допомогою систем на основі ближнього інфрачервоного випромінювання (NIR). Вони розроблені в режимах відбиття та пропускання. NIR-спектроскопія поділяють на дві основні підкатегорії: NIR спектрометричний аналіз та NIR-аналіз сигналу фотоплетизмографії (ФПГ) [5].

МЕТА РОБОТИ

Метою даного дослідження є розроблення програмного рішення на основі моделі машинного навчання, яка дозволить автоматизувати процес вимірювання значення глюкози в крові людини з сигналу фотоплетизмографії.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В ході виконання даної роботи реєструвались сигнали ФПГ на трьох довжинах хвиль (568 нм, 660 нм, 940 нм) з частотою дискретизації 357 Гц за допомогою системи ФПГ [6], функціональна схема якої представлена на рис. 1. Сигнали отримувались з мочки вуха одного здорового добровольця (чоловічої статі, 23 років), який перебував у стані спокою. Протягом одного дня було

проведено 25 вимірювань тривалістю 3 хвилини до і після вживання їжі з високим вмістом цукру. Під час реєстрації кожного сигналу ФПГ, одночасно вимірювалось значення глюкози за допомогою інвазивного глюкометра. Для навчання моделей машинного навчання використовували 20-секундні сегменти сигналів ФПГ (7400 точок) та значення глюкози отримані інвазивним методом.

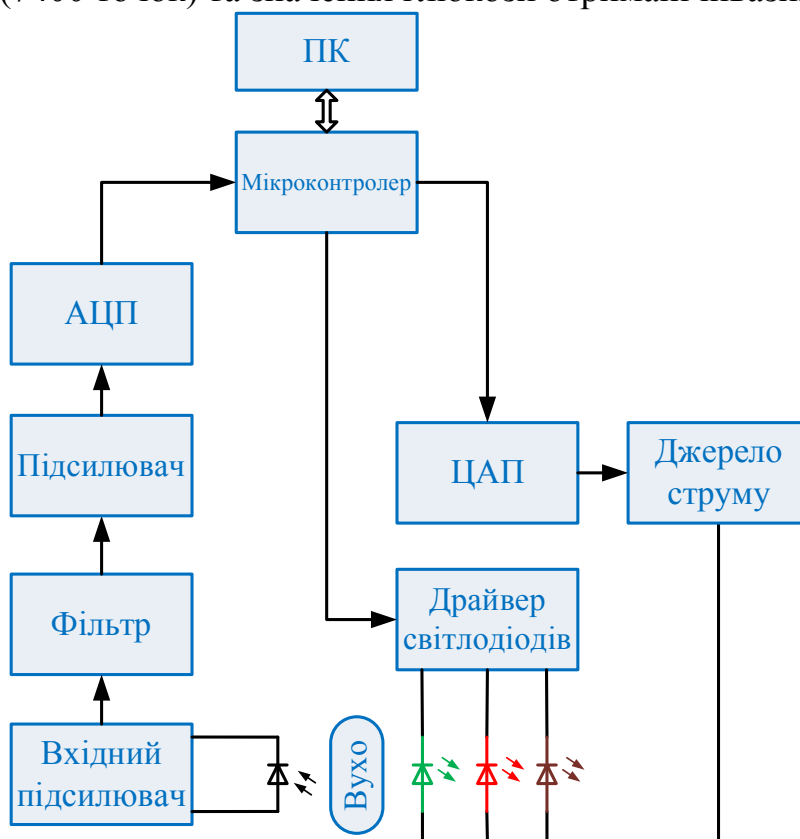


Рисунок 1. Функціональна схема системи багатохвильової фотоплетизмографії [7]

Для зменшення впливу артефактів, що могли погіршити точність аналізу, застосували *поліноміальне детрендування 4-го ступеня*. Нормалізувати дані не потрібно, через те, що втрачається потенційно важлива інформація про сигнал фотоплетизмографії. Деякі файли містять ділянки даних, що виявляють явні аномалії через вплив зовнішніх факторів. Найбільш точним способом виявлення таких ділянок є *аналіз розкиду* між мінімальним і максимальним значеннями сигналу ФПГ з довжиною хвилі 568 нм, який має найвищу чутливість до артефактів у вибраному інтервалі.

Для навчання моделей машинного навчання з кожного 20-секундного сегменту сигналу ФПГ розраховували певні параметри та цільові значення. Проте дані, очевидно, мають певне зашумлення через різноманітні зовнішні фактори. Для модифікації даних було обрано *метод вейвлет-декомпозиції сигналу*. Шляхом розділення сигналу (впорядкованих числових значень для кожної довжини хвилі) на різні частоти можна отримати до 8 рівнів за допомогою використання бібліотеки `pywt`, написаною на мові Python. Після цього визначали параметри, які використовувались для навчання кожної моделі машинного навчання: *мінімуми, максимуми, інтерквартильний розмах, сума абсолютних відмінностей, нульова лінія перетину, автокореляція за лагом,*

середня частота, медіана частоти, пікова частота, середня сила спектра, ентропія спектра, спектральний куртозис, спектральна асиметрія, ентропія Шеннона, *hurst*-показник та коефіцієнт Ляпунова.

Для виявлення найефективніших моделей машинного навчання для неінвазивного вимірювання глюкози в крові людини з сигналу фотоплетизмографії, були досліджені наступні моделі: *Gradient boosting*, *Random forest*, *XGBoost*, *LightGBM*, *CatBoost*, *Ridge regression*, *Lasso*, *Elastic Net Regression*, *Linear regression*, *SVM*, *KNN*. Оцінювання точності здійснювалося за допомогою крос-валідації вимірювань для одного учасника експерименту. Прогнозоване значення глюкози, за допомогою моделі, порівнювали з фактичним значенням, вимірним інвазивним глюкометром (як показано на рис. 2), і далі обчислювали середнє значення кореня середньоквадратичного відхилення (RMSE). Результати оцінювання для кожної моделі, які представлені на рис. 3, демонструють, що найкраще себе проявили *Gradient boosting*, *Random forest* та *XGBoost*, а найгірше – *KNN*.

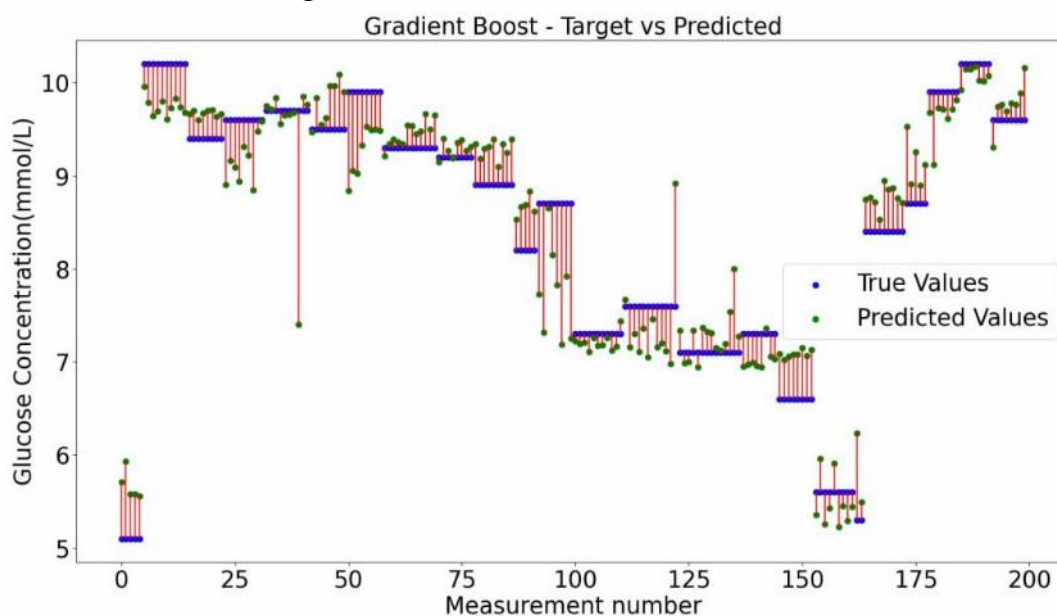


Рисунок 2. Значення глюкози, передбачені за допомогою моделі Gradient boosting, порівнюються з відповідними значеннями, вимірними за допомогою інвазивного пристрою

ВИСНОВКИ

Для неінвазивного вимірювання рівня глюкози в крові людини за допомогою аналізу сигналів фотоплетизмографії на трьох довжинах хвиль: 568 нм, 660 нм та 940 нм було застосовано методи машинного навчання. Значення глюкози, отримані інвазивним глюкометром порівнювалися з прогнозованими значеннями за допомогою однієї з одинадцяти моделей машинного навчання, кожна з яких перевірялась в цій роботі. Найкращі результати демонструють три моделі: *XGBoost*, *Random Forest*, *Gradient Boost*. Вибрані методи та розроблена система демонструють хороші результати, але вони все ще потребують додаткових досліджень для вдосконалення.

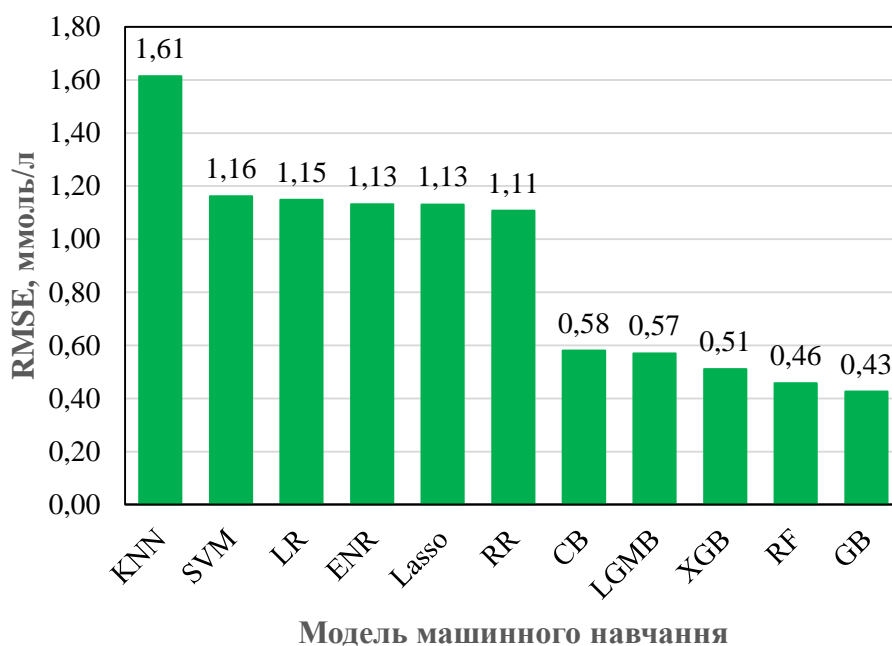


Рисунок 3. Діаграма середніх значень RMSE для різних моделей машинного навчання: LR – Linear regression, ENR – Elastic Net Regression, RR – Ridge regression, CB – CatBoost, LGMB – LightGBM, XGB – XGBoost, RF – Random forest, GB – Gradient boosting

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Wild, S., Roglic, G., Green, A., Sicree, R., & King, H. (2004). Global prevalence of diabetes: estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes care*, 27(5), 1047-1053.
- [2] Cappon, G., Vettoretti, M., Sparacino, G., & Facchinetti, A. (2019). Continuous glucose monitoring sensors for diabetes management: a review of technologies and applications. *Diabetes & metabolism journal*, 43(4), 383-397.
- [3] Hina, A., & Saadeh, W. (2022). Noninvasive blood glucose monitoring systems using near-infrared technology—a review. *Sensors*, 22(13), 4855.
- [4] Дереча, Д.О., Велигоцький, Д.В., Лазоренко, Я.П., Міцай, В.П., та Мамілов, С.О. (2023). *Молекулярна динаміка летких біомаркерних сполук при їх елімінації газотранспортними потоками в біологічних структурах*. «Хімджест», Київ, 188 с.
- [5] Zheng, Y., Zhan, Z., Chen, Q., Chen, J., Luo, J., Cai, J., ... & Xie, W. (2024). Highly Sensitive Perovskite Photoplethysmography Sensor for Blood Glucose Sensing Using Machine Learning Techniques. *Advanced Science*, 2405681.
- [6] Yesman, S.S., Veligotsky, D.V., Mamilov, S.O., Gisbrecht, A.I., Mircheva, V.S., & Zaharieva, L.B. (2019). Optical diagnostics of the condition of the cardio vascular system on the basis of optoelectronic methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 618(1), 2-7.
- [7] Mamilov, S., Esman, S., Velyhotsky, D., & Gisbrecht, A. (2022). Non-invasive study of changes in venous oxygen saturation. *General Medicine*, 24(2), 26-28.

Наук. керівник – к.т.н., ст. викл. Велигоцький Д.В.

УДК 681.7.3.6: 617.5.51

Ю.В. Лобур, аспірант гр. ПБ-31ф, , к.т.н, доц. Вонсевич К.П.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ МАНІПУЛЯЦІЇ В РОБОТИЗОВАНИХ ПРОТЕЗАХ ВЕРХНІХ КІНЦІВОК

Анотація: У роботі представлено особливості реалізації оптико-електронної системи, призначеної для ідентифікації базових форм об'єктів маніпуляції роботизованого протезу верхньої кінцівки. Зокрема розглянуто особливості побудови біонічних протезних систем та їх основних складових блоків, визначено основні критерії і обрано елементну базу для реалізації першого прототипу модулю реєстрації оптичних зображень. Обрано алгоритм аналізу отриманих зображень об'єктів маніпуляції, на основі моделі штучної нейронної мережі типу FOMO та описано особливості її побудови. Проведено тестування розробленої системи на наборі предметів різної форми, проведено аналіз отриманих результатів та визначено наявні обмеження і напрямки подальших досліджень.

Ключові слова: розпізнавання форми, оптико-електронний модуль, мікропроцесорне керування, біонічний протез, штучні нейронні мережі.

ВСТУП

Розвиток технологій у галузі штучного інтелекту, доступність масивів візуальної інформації, новітні біотехнології відкривають перед дослідниками нові можливості у вирішенні складних прикладних завдань, зокрема і у сфері робототехніки, біоніки чи відновленні окремих функцій організму людини. Як наслідок, дослідження спрямовані на створення роботизованих біоміметичних пристроїв, зокрема тих, що використовуються для відтворення природних здібностей людини, стають все більш популярними. Характерним прикладом таких досліджень є галузь протезування кінцівок, де сучасні зразки біонічних рук [1] і ніг [2] дозволяють не тільки мімікрувати візуальну присутність втраченої частини тіла пацієнта, як у випадку косметичних протезів, а й відтворювати певний набір функціональних рухів.

При проектуванні такого обладнання необхідно враховувати його загальну масу, автономність, траєкторію руху механічних складових, тощо. У випадку з біонічною рукою, окрім естетичної подібності протеза, важливим є також фактор відтворення ним хапальних і точних рухів, як у природній кінцівці. Це ставить перед розробниками досить амбітний набір цілей, в тому числі пов'язаних з біомеханікою руху протезів. Окремою задачею є і відтворення елементів її природної чутливості, що зазвичай передбачає використання цілого набору сенсорів різноманітного призначення. Системи роботизованих рук зазвичай включають кілька основних частин, необхідних для виконання поставлених завдань. Наприклад: мікроконтролерний або мікрокомп'ютерний модуль керування (CPU), модуль вимірювання біологічного сигналу тіла, схему керування рухом привідних механізмів, набір двигунів, сенсорів, систему живлення, тощо [3]. Додаткові модулі та електронні датчики, що входять до складу біонічної системи, можуть забезпечувати не лише виконання певного набору жестів, але й подальшу адаптацію рухів кінцівки та сили дотику її пальців до об'єкту маніпуляції. Для цього в універсальну систему протеза зазвичай включають зворотний зв'язок з тілом пацієнта, який забезпечує пропорційний відгук системи керування на тіло користувача, або реалізується у вигляді модулів для автономного розпізнавання об'єктів [4].

У цій роботі авторами пропонується прототип оптико-електронної системи визначення форми об'єкта маніпуляції для роботизованого протеза руки, на основі аналізу цифрових зображень та алгоритму відкритої нейронної мережі FOMO MobileNet.

РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ МАНІПУЛЯЦІЇ В РОБОТИЗОВАНИХ ПРОТЕЗАХ ВЕРХНІХ КІНЦІВОК

При проектуванні оптико-електронної системи визначення форми об'єкта маніпуляції, її основні компоненти та алгоритм функціонування обирались відповідно до принципів «комп'ютерного бачення» і можливості подальшої практичної реалізації з розміщенням у складі біонічного протеза. Зокрема, було визначено, що така система повинна складатися з кількох оптичних модулів або датчиків для отримання зображень об'єктів у різних просторових площинах, а також власного контролера, який можна підключати до ПК з метою попереднього аналізу отриманих зображень. Процес аналізу проводився за допомогою моделей штучних нейронних мереж, які після процесу навчання і попереднього тестування, в подальшому застосовувались для розпізнавання форми об'єктів маніпуляції та інтегрування до складу МК оптико-електронної системи. Розпізнавання форми об'єкта маніпуляції здійснювалось шляхом класифікації набору зображень, отриманих від камери оптико-електронного модуля, за допомогою штучної нейронної мережі (ШНМ) FOMO, на основі Edge-impulse архітектури [5], яка має назву MobileNetV2.

Особливістю архітектури у FOMO моделі є те, що кількість каналів згортки тут є зменшеною і встановлюється відповідно до спеціального коефіцієнта ширини. Основний архітектурний блок з рівнем згортки глибинної сегментації складається з двох компонентів: згортки глибини та точкової згортки, має інвертований залишок із лінійним скороченням і складається з розширеної точкової, глибинної та проекційної згортки. Після проходження кожного блоку з певним кроком, тут використовується функція лінійної активації для збереження корисної інформації, а водночас активація ReLU6 застосовується для забезпечення нелінійності після розширення та проектування. Пакедна нормалізація виконується після кожної згортки. Такий підхід до проектування моделі ШНМ зменшує загальну складність обчислювального алгоритму та робить відносно легкою інтеграцію моделі FOMO в малопотужні портативні контролери, такі як ESP-32. У порівнянні з аналогічними алгоритмами виявлення об'єктів, доступними для промислових роботів-маніпуляторів (наприклад YOLO чи Deep SORT) [6], модель FOMO, інтегрована в мікроконтролер ESP, не вимагає значної кількості провідників або додаткових обчислювальних потужностей, що є беззаперечною перевагою при її застосуванні, як компонента портативної біонічної системи.

При проведенні базового експерименту, перед початком процедури вимірювання реєструючі елементи модуля попередньо розміщувались на спеціально розробленій вимірювальній конструкції, зображення якої показано на рис. 1а. Конструкцію було спроектовано таким чином, що відстань від точки входу оптичного каналу до платформи, на якій переміщується досліджуваний

об'єкт, можна змінювати із певним кроком (1 см). Навчання ШНМ для оптико-електронної системи проводилося на наборі 235-кольорових зображень розміром 240x240 пікселів, отриманих для різних об'єктів у двох точках вимірювального простору (площини X і Y). За умовами дослідження, деталізований контур кожного тестового предмету підлягав подальшій апроксимації до однієї з категорій узагальнених, простих форм: сферичної, кубічної та циліндричної у вертикальному чи горизонтальному розташуванні. Такий вибір категорій було здійснено базуючись на аналізі таксономії основних хватів руки, представленому зокрема і в роботі [7]. Тут сферична категорія предметів визначається як та, до якої в подальшому можуть бути застосовані трипальцеві чи широкі хвати. Прямокутна - долонні чи хвати типу “щипок”, циліндрична - огортаючі чи гачкові хвати, тощо. Крім того, у навчальному наборі зображень для мережі використовувалось також зображення заднього фону, без розміщення в полі зору камери будь-яких предметів, чи інших складових у загальній сцені, також категорія предметів складної форми. Така інформація є необхідною для виокремлення фону, як шумової складової алгоритму детектування, що в подальшому може впливати на достовірність моделі ШНМ. Відсоткове розподілення зображень для мережі складало 80% на тренування і 20% на тестування, кількість навчальних епох $e=30$, а показник learning rate (error) = 0,005. Ефективність класифікації об'єктів оцінювалась за допомогою побудови матриці похибок.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Випробування прототипу оптико-електронної системи для розпізнавання форми об'єктів маніпуляції роботизованого протезу руки проводилися на наборі предметів, з якими користувач може контактувати у повсякденному житті. А саме: сферичного яйця, кубічної коробки, павербанку, циліндричної чашки, тощо.



а)

BACKGROUND	CILINDER	CUBIC	DISFORMED	SPHERE
100%	0%	0%	0%	0%
0%	100%	0%	0%	0%
12.5%	0%	87.5%	0%	0%
0%	0%	0%	100%	0%
0%	0%	0%	0%	100%
1.00	1.00	0.93	1.00	1.00

б)

Рисунок 1. Розміщення оптичних модулів запропонованої системи відносно об'єкту маніпуляції: (а) вимірювальна конструкція. (б) матриця похибок класифікації форми об'єктів маніпуляції

Камери системи при цьому були розміщені на однаковій відстані від предметного столику розробленої конструкції, а система апробувалася в режимі реального часу на робочій відстані від об'єкта $L=70\text{см}$, після інтеграції попередньо навченої ШНМ в програмну пам'ять мікроконтролеру ОЕС.

Результати тестування системи представлені матрицею похибок, що показана на рис. 1б. Як видно з рисунку, загальний показник F1-Score для достовірності класифікації форми об'єктів маніпуляції за допомогою ОЕС склав 87,5%, де хибно визначеними були рішення лише по одній з категорій об'єктів, кубічної форми. У подальших дослідженнях планується тестування запропонованого прототипу ОЕС на предметах складеної форми, базова форма яких може описуватись одночасно декількома формами простих фігур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ortiz-Catalan, M., Zbinden, J., Millenaar, J., D'Accolti, D., Controzzi, M., Clemente, F., ... & Brånemark, R. (2023). A highly integrated bionic hand with neural control and feedback for use in daily life. *Science robotics*, 8(83), eadf7360.
- [2] Tran, M., Gabert, L., Hood, S., & Lenzi, T. (2022). A lightweight robotic leg prosthesis replicating the biomechanics of the knee, ankle, and toe joint. *Science robotics*, 7(72), eabo3996..
- [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. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44347-3_6
- [4] Vonsevych, K.P., Bezuglyi, M.A., Prytula, O.A.: Optical feedback based on photometry by ellipsoidal reflector in bionic fingers application. *KPI Sci. News* 3, 63–72 (2019). <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2019.3.175785>
- [5] Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L. C. (2018). Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 4510-4520).
- [6] Durve, M., Orsini, S., Tiribocchi, A., Montessori, A., Tucny, J. M., Lauricella, M., ... & Succi, S. (2023). Benchmarking YOLOv5 and YOLOv7 models with DeepSORT for droplet tracking applications. *The European Physical Journal E*, 46(5), 32.
- [7] Llop-Harillo, I., Pérez-González, A., Starke, J., & Asfour, T. (2019). The anthropomorphic hand assessment protocol (AHAP). *Robotics and Autonomous Systems*, 121, 103259.

Наук. керівник – к.т.н, доцент, Вонсевич К.П.

УДК 615.814.1

Г.А. Пащенко, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОЦІНКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ

Анотація. При використанні комп'ютерно-інтегрованих лазерних систем (КІЛС) лазерне випромінювання (ЛВ) стимулює зміну температурних режимів біологічних тканин (БТ) [1]. При недостатньому контролі ЛВ виникають побічні ефекти у вигляді пошкодження суміжних тканин та довшого реабілітаційного періоду [2]. Контролювання основних параметрів лазерного випромінювання завдяки попереднього моделюванню змін температури БТ при використанні КІЛС вирішує дану проблему. Для оптимального моделювання розроблено програмне забезпечення (ПЗ), яке моделює зміну температурних показників біологічних тканин при застосуванні КІЛС, враховуючи особливості процесів теплообміну. Дане ПЗ спрямоване на використання для оптимізації медичних лазерних систем та вдосконалення технологій у хірургії, дерматології та інших галузях медицини. Запропонований підхід сприяє глибшому розумінню механізмів лазерного впливу на тканини, забезпечуючи безпеку та оптимізацію процедур у медичній практиці.

Ключові слова: зміни температурних показників, комп'ютерно-інтегрована лазерна система, біологічна тканина, моделювання теплообміну.

ВСТУП

Лазерне випромінювання вже кілька десятиліть активно застосовується в медицині завдяки своїм унікальним властивостям, таким як висока точність та можливість локального впливу на біологічні тканини. Ці переваги забезпечили лазерним технологіям широку популярність у хірургії, дерматології, офтальмології та інших галузях медицини [3]. Однак, попри значний прогрес у використанні лазерів, питання безпеки і точності їх впливу на біологічні структури залишаються актуальними, особливо коли йдеться про попередження небажаних побічних ефектів.

Однією з ключових проблем є контроль температурного впливу лазерного випромінювання на біологічні тканини. Тому моделювання теплових змін під час дії лазера стало важливим напрямком досліджень, що дозволяє знизити ризики виникнення побічних ефектів при застосуванні КІЛС. У цьому контексті розробка інструменту для моделювання впливу ЛВ на БТ відіграє важливу роль.

Метою цієї роботи є дослідження і моделювання температурних змін, що виникають при дії лазерного випромінювання, із застосуванням спеціально розробленого програмного забезпечення. Таким чином, застосування отриманого інструменту дозволяє вдосконалити налаштування лазерних систем, а також забезпечити підвищену точність та безпечність застосування КІЛС.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІН ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

Для моделювання температурних змін біологічних тканин при дії лазерного випромінювання необхідно комп'ютерно-інтегровану лазерну систему на базі якої відбудуватиметься моделювання. При виборі структур комп'ютерно-інтегрованих лазерних систем обрано апарат «Lika-surgeon+» [4]. В результаті аналізу даного апарату розроблена модернізована структурна схема системи, що представлена на рис.1.

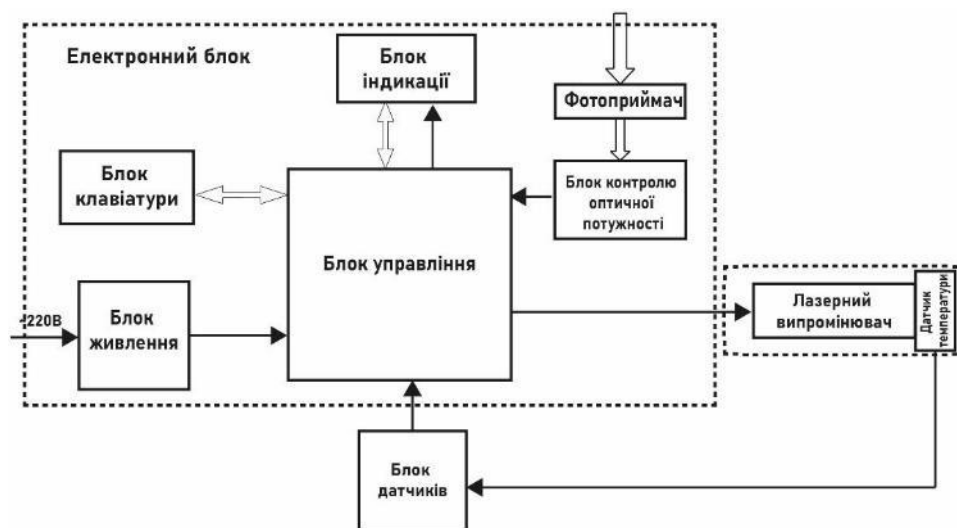


Рисунок. 1. Структурна схема системи КІЛС.

Проаналізувавши структуру системи, встановлено, що у ролі засобів безпеки встановлено блок контролю потужності, завдяки якому відбувається контроль потужності лазерного випромінювання під час застосування даної системи на пацієнтах при направленні лазерного випромінювача на фотоприймач. Проте імовірність виникнення побічних ефектів на біологічних тканинах пацієнтів все ж залишається. Тому виникає необхідність в попередньому моделюванні впливу ЛВ даної системи та аналогічних типів систем на БТ. Моделювання дозволяє оцінити потенційні ризики, що пов'язані з термічними змінами в тканинах, що є особливо важливим для забезпечення безпеки пацієнтів під час медичних процедур [5].

Для моделювання обрано параметри потужності та довжини хвилі лазерного випромінювача $P=7$ Вт та $\lambda=1064$ нм відповідно, а радіус плями ЛВ $r=2$ мм, час опромінення $t=10$ секунд, початкова температура тканин $T=32^\circ\text{C}$.

При виборі середовища для моделювання створено власне програмне забезпечення (ПЗ), яка враховує параметри тканини (наприклад, щільність ρ , пористість, початкову температуру T_0 БТ і т.д.) та параметри лазерного випромінювача (радіус плями R , потужність P та довжину хвилі λ), а також час дії t ЛВ КІЛС на БТ. Крім того, ПЗ створює візуалізацію температурних змін БТ. Вигляд меню програми представлено на рис.2.

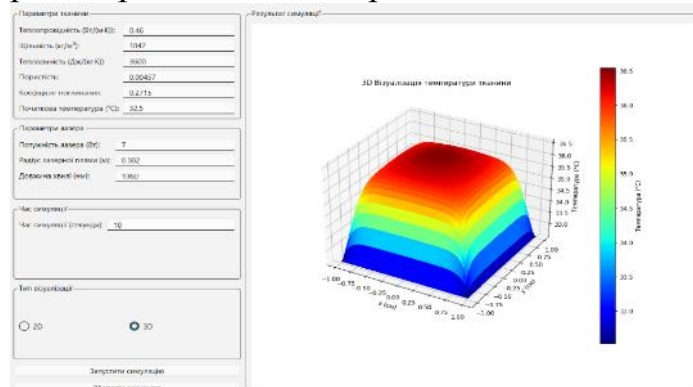


Рисунок.2. Головне меню програмного забезпечення для моделювання температурних змін

В результаті використання ПЗ було проведено моделювання температурних змін для БТ кісткової та м'якої однорідної тканин. На рисунку 3 представлено

результати моделювання.

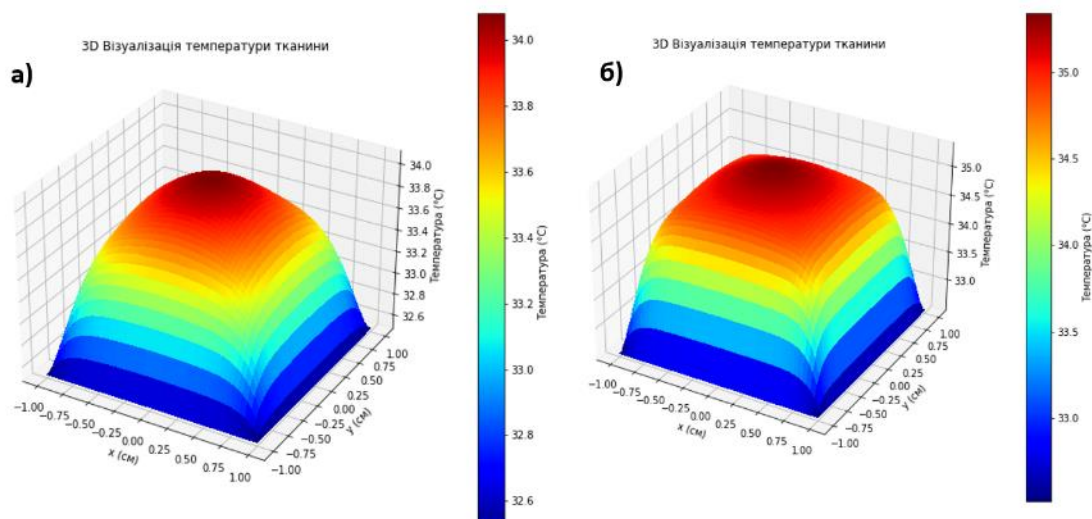


Рисунок. 3 Температурні зміни біологічних тканин: а – кісткової, б – м'якої однорідної

Таким чином, встановлено, що при впливі ЛВ на кісткову тканину показники температури сягнули 33,9°C, а м'якої однорідної тканина – 35,1°C. Отримані результати були перевірені на достовірність статистичними методами та порівняні з реальними дослідженнями.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ

Проаналізувавши дані за F -критерієм Фішера [6], встановлено, що результати моделювання впливу ЛВ на БТ з використанням програмного забезпечення достовірні, оскільки розрахований критерій $F_{\text{розраховане}}(34,04) > F_{\text{критичне}}(2,97)$. При порівнянні з реальними даними температурних змін, що отримані болгарським науковцями [7], нами отримано похибку результатів в діапазоні 2,1 – 6,9 %. Це свідчить про адекватність математичної моделі та алгоритмів, які лежать в основі програмного забезпечення. Отже, дані температурних змін, що отримані за допомогою ПЗ є наближеними до реальних.

Таким чином встановлено, що при впливі лазерного випромінювання потужністю $P=7$ Вт та довжиною хвилі $\lambda = 1064$ нм протягом 10 секунд температура кісткової тканини підвищується до 33,9°C, а м'якої однорідної тканини — до 35,1°C. Встановлено, що м'яка тканина нагрівається інтенсивніше, що пов'язано з більшою теплопровідністю і теплоємністю даної тканин, що впливає на розподіл температури під час впливу. Отримані дані та інструмент для моделювання можуть бути використані для подальшої оптимізації параметрів лазерного випромінювання, що генеруються КІЛС та забезпечити безпеку та ефективність процедур без ризику виникнення термічних пошкоджень через особливості структури та характеристик живих біологічних тканин.

ВИСНОВКИ

У результаті дослідження встановлено, що температура кісткової тканини

зростає до 33,9 (+1,9) °С, тоді як м'яка однорідна тканина нагрівалася до 35,1(+3,1)°С. Це вказує на відмінності у теплових властивостях тканин, такі як щільність, кровотік, теплопровідність і теплоємність, що впливають на рівень нагрівання під час лазерного впливу. Похибка результатів моделювання, яка знаходиться в межах 2,1–6,9%, свідчить про високу точність та відповідність реальним експериментальним даним.

Завдяки моделювання температурних змін за допомогою ПЗ під час лазерного впливу на різні типи тканин, наприклад, кісткову та м'яку, можна визначити оптимальні параметри потужності, довжини хвилі та часу опромінення. Даний підхід дозволяє адаптувати комп'ютерно-інтегровані лазерні системи під конкретні умови, що особливо корисно для застосувань у хірургії та дерматології. Таким чином, оптимізація за допомогою розробленого інструменту покращує безпеку процедур, а також запобігає небажаним ефектам при застосуванні лазерного випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] G. Tymchik, M. Tereshchenko, O. Lyashenko, O. Gnateyko, "Research of the influence of laser radiation on temperature processes in biological tissues", *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, is. 49(1), pp. 153-158, 2015.
- [2] V. Shvidkiy and M. Tereshchenko, "Dynamics of changes in parameters of laser radiation in biological fabrics", *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, no. 54(2), pp. 111–118, Dec. 2017.
- [3] Legres, L. G., Chamot, C., Varna, M., & Janin, A. (2014). The laser technology: new trends in biology and medicine. *Journal of Modern Physics*, 2014.
- [4] Фотоніка Плюс. Хірургічний діодний лазер Lika-surgeon+. Фотоніка Плюс. Доступно за посиланням: <https://www.fotonikaplus.com.ua/produksiya/lazernye-apparaty/khirurgicheskiy-diodnyj-lazer-lika-surgeon.html>
- [5] Г. Пащенко і М. Терещенко, «Моделювання впливу лазерного випромінювання на зміну температур у біологічних тканинах», *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, вип. 67(1), с. 96–102, Чер 2024.
- [6] Upton, G. J. (1992). Fisher's exact test. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*, 155(3), 395-402.
- [7] Nachkov I, Zagorchev P, Yaneva B. Temperature limits during irradiation in laser-assisted treatment of peri-implantitis - laboratory research. *Folia Med (Plovdiv)*. 2023 Feb 28;65(1):140-148. doi: 10.3897/folmed.65.e72920. PMID: 36855986.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

УДК 615.81

О.С. Турбіцький, студент гр. ПБ-41мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИЙ ЛАЗЕРНИЙ АПАРАТ З ОПТОВОЛОКОННИМ ВИХОДОМ

Анотація. Розроблено мультиспектральний лазерний апарат (МЛА) з оптоволоконним виходом для геометричного формування однорідного по щільності прямокутного променя з оптоволоконної насадки [1]. Мультиспектральний апарат працює в діапазоні 400–1200 нм і використовує багатомодові оптичні волокна, фокони та лазерні діоди [2]. Апарат забезпечує рівномірний розподіл потужності випромінювання, що підвищує ефективність терапії та мінімізує вплив на здорові тканини. Основна сфера застосування — медичні процедури, проте пристрій може бути адаптований і для інших галузей [3].

Ключові слова: мультиспектральний лазер, оптоволоконний вихід, однорідний пучок, лазерна медицина.

ВСТУП

Мультиспектральні лазерні апарати є одними з найперспективніших інструментів сучасної техніки завдяки їхній здатності працювати у декількох спектральних діапазонах [4]. Вони знаходять широке застосування у промисловості, медицині, наукових дослідженнях та інших сферах, де потрібна точна й адаптивна обробка матеріалів, зон дослідження або даних. Актуальність розробки та використання таких апаратів зумовлена стрімким розвитком лазерних технологій та зростаючою потребою в універсальних і високоточних інструментах та унікальних можливостях [5].

В нашій роботі досліджені принципи функціонування мультиспектральних лазерних апаратів, їхні конструктивні особливості та сфери застосування. Крім того, проведено аналіз сучасних тенденцій розвитку таких систем та їхньої інтеграції з іншими технологіями [6].

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ

Мультиспектральні лазерні апарати базуються на принципах генерації лазерного випромінювання, яке може бути модульоване за довжиною хвилі. Для цього використовуються різні технології, такі як оптичні решітки, нелінійно-оптичні кристали або активні середовища, здатні працювати в широкому спектрі. У сучасних системах впроваджуються механізми тонкого налаштування, які забезпечують точний вибір довжини хвилі відповідно до вимог завдань.

Важливим фактором є вибір активного середовища, оскільки воно визначає базову довжину хвилі та енергію випромінювання. Наприклад, використання рідкоземельних елементів або складних сполук дозволяє створювати лазери з підвищеною стабільністю роботи та розширеним діапазоном випромінювання. У поєднанні з сучасними електронними системами управління ці рішення значно підвищують ефективність роботи лазерів у мультиспектральному режимі [7].

Іншим важливим напрямом досліджень є розробка компактних і мобільних лазерних систем. Це дозволяє інтегрувати їх у портативні аналітичні прилади, наприклад, для медичної діагностики або моніторингу навколишнього середовища. Водночас питання теплового розсіювання та забезпечення стабільності залишаються актуальними, адже мініатюризація може негативно впливати на ефективність системи. На рис. 1 зображена структурна схема такого

мультиспектрального лазерного апарату з оптоволоконним виходом

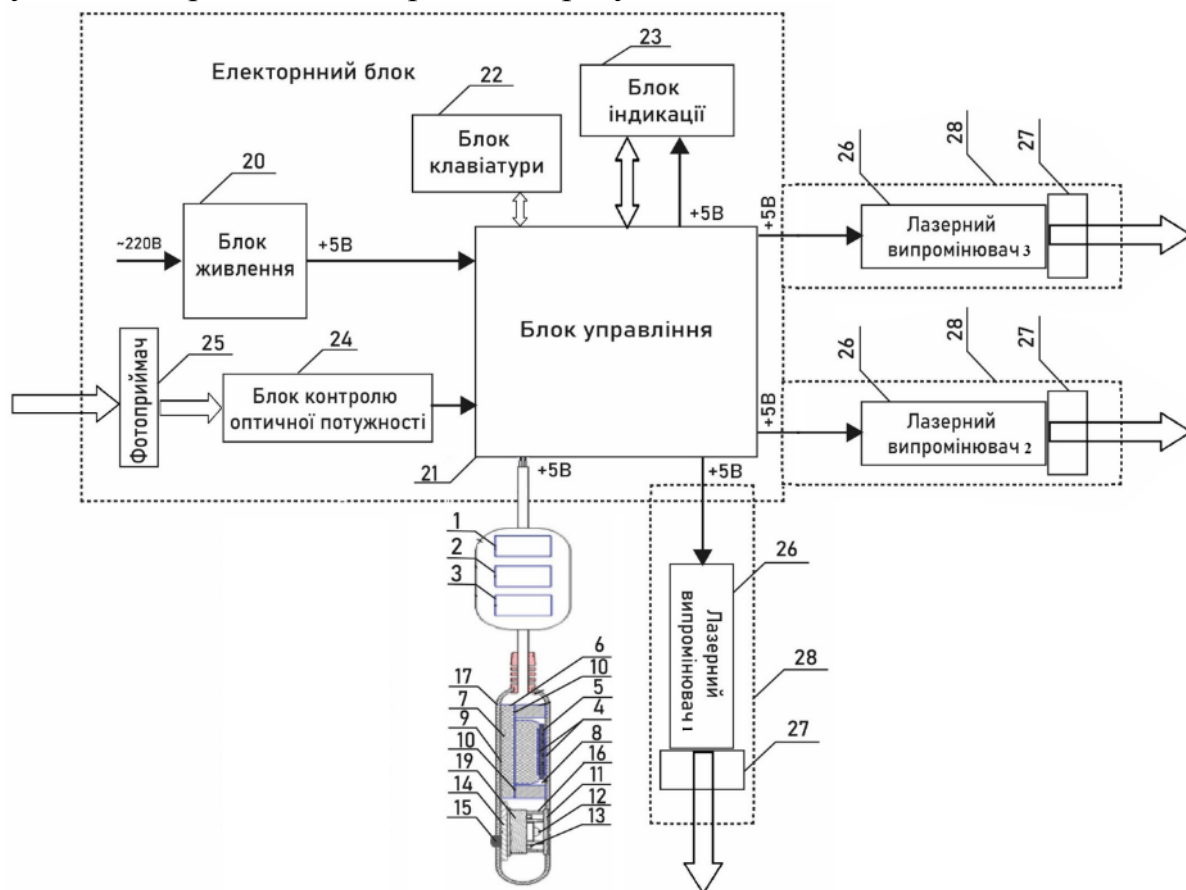


Рис.1 Структурна мультиспектрального лазерного апарату з оптоволоконним виходом.

Приведена структурну схему модернізованого лазерного приладу з елементами керування, дозволяє забезпечити активний контроль, регулювання параметрів і підтримання стабільного функціонування.

Модернізований прилад включає:

- Електронний блок**, який складається з таких компонентів:
 - Блок живлення (20), що забезпечує перетворення напруги ~ 220 В в стабілізовану напругу +5 В.
 - Блок управління (21), який приймає та обробляє сигнали для управління іншими елементами системи.
 - Блок клавіатури (22) для ручного введення параметрів і керування функціями.
 - Блок індикації (23), що відображає стан роботи приладу та поточні параметри.
 - Блок контролю оптичної потужності (24), який приймає сигнал від фотоприймача (25) для оцінки потужності лазерного випромінювання.
- Лазерні випромінювачі (26)** з індивідуальними наконечниками (27) та захисними кожухами (28). Випромінювачі забезпечують спрямоване лазерне опромінення заданої області, а змінні наконечники дозволяють адаптувати форму і розмір променя залежно від задачі.
- Технологічний живильник**, який складається з:
 - Лазерного блока з трьома випромінювачами (1, 2, 3).

- Центрального хвилеводу (6), який передає випромінювання від блока лазерів до вихідного отвору.
- Елементів для механічного кріплення та налаштування системи: корпус (9), ущільнювач (19), а також регулювальний механізм.
- Системи сумування оптичних потоків та вирівнювання вихідного сигналу необхідної форми по енергетичній однорідній щільності
- Системи керування

Апарат МЛА функціонує за таким принципом:

Після ввімкнення апарату блок управління (21) отримує напругу від блока живлення (20) і активує лазерні випромінювачі (26). Лазерне випромінювання контролюється фотоприймачем (25) і регулюється через блок контролю оптичної потужності (24). Оператор задає параметри через блок клавіатури (22), а поточний стан роботи системи контролюється і відображається на блоці індикації (23).

Цей апарат характеризується підвищеною точністю в керуванні лазерним випромінюванням, що забезпечує ефективну взаємодію з об'єктами опромінення та мінімізацію втрат оптичної енергії.

ВИСНОВКИ

Мультиспектральні лазерні апарати представляють собою універсальний інструмент із широким спектром застосувань. Їхня здатність працювати в кількох спектральних діапазонах дозволяє вирішувати різнопланові задачі у промисловості, медицині та науці. Подальший розвиток таких систем, зокрема інтеграція з алгоритмами штучного інтелекту, сприятиме створенню автоматизованих систем обробки матеріалів і даних. Це забезпечить підвищення ефективності роботи таких лазерних апаратів і сприятиме їхньому широкому використанню в нових галузях науки та техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] 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. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2023-46-2-100-104>
- [2] С. В. Павлов, Х. Р. У. Ровіра, В. В. Холін, Л. Є. Никифорова, М. Ф. Терещенко, і О. С. Комарова, «Імітаційне моделювання процесів міграції фотонів в біологічному середовищі», *Опт-ел. інф-енерг. техн.*, вип. 46, вип. 2, с. 105–116, Груд 2023. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2023-46-2-105-116>
- [3] G. Tymchik, M. Tereshchenko, O. Lyashenko, O. Gnateyko, “Research of the influence of laser radiation on temperature processes in biological tissues”, *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak. is.49(1)*, pp. 153-158, 2015. DOI: 10.20535/1970.49(1).2015.47092
- [4] Г. Пашенко і М. Терещенко, «Моделювання впливу лазерного випромінювання на зміну температур у біологічних тканинах», *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, вип. 67(1), с. 96–102, Чер 2024.
- [5] Діодний хірургічний лазер Lika-surgeon+. Фотоніка Плюс. Доступ:

<https://www.fotonikaplus.com.ua/produktsiya/lazernye-apparaty /khirurgicheskij-diodnyj-lazer-lika-surgeon.html>

- [6] M. Jasiński, E. Majchrzak, and L. Turchan, “Numerical analysis of the interactions between laser and soft tissues using generalized dual-phase lag equation”, *Appl. Math. Modelling*, vol. 40, is.2, pp. 750–762, січ. 2016. DOI:10.1016/j.apm.2015.10.025
- [7] Legres, L. G., Chamot, C., Varna, M., & Janin, A. (2014). The laser technology: new trends in biology and medicine. *Journal of Modern Physics*, 2014.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф.

Секція 8.

Міжнародне науково-технічне співробітництво в приладобудуванні в умовах індустрії 4.0

УДК 339.137.2:656

Р. О. Бабко, аспірант гр. УС-41ф, зав. каф., д.е.н., проф. Войтко С. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЖНАРОДНОЇ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ НА ЗАСАДАХ ІНДУСТРІЇ 4.0 В УМОВАХ ВАЛЮТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Анотація. Розглянуто ключові засади забезпечення міжнародної конкурентоспроможності логістичних підприємств України шляхом впровадження технологій Індустрії 4.0, таких як інтернет речей, штучний інтелект та автоматизація виробничих процесів. Особлива увага приділена впливу валютного регулювання, що визначає умови валютних операцій, управління курсовими ризиками та фінансовими розрахунками в нестабільних економічних умовах. Досліджено адаптацію логістичних компаній до викликів глобальної економіки, включаючи забезпечення прозорості, ефективності та надійності ланцюгів постачання. Обґрунтовано доцільність інтеграції інноваційних рішень, спрямованих на оптимізацію процесів і підвищення рівня стійкості підприємств у нестабільному валютному середовищі. Представлено рекомендації для покращення конкурентних позицій підприємств України на міжнародних ринках через впровадження інноваційних технологій та адаптацію до динамічного регуляторного середовища.

Ключові слова: міжнародна конкурентоспроможність, логістичні підприємства, Індустрія 4.0, валютне регулювання, інновації.

ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку світової економіки підкреслюють важливість забезпечення міжнародної конкурентоспроможності для логістичних підприємств. Індустрія 4.0 пропонує нові технологічні можливості, які відкривають простір для оптимізації процесів, підвищення рівня продуктивності та створення доданої вартості.

Україна, будучи інтегрованою у глобальні економічні процеси, стикається з викликами, пов'язаними із впливом валютного регулювання. Для збереження стабільності та конкурентоспроможності підприємств у таких умовах доцільно адаптувати інноваційні рішення.

Значний обсяг робіт із дослідження зазначеної проблематики виконано в рамках проєкту "Digital Supply Chain Transformation", що реалізується Центром транспорту та логістики при Massachusetts Institute of Technology (MIT), США. У проєкті досліджуються впливи цифрових інновацій Індустрії 4.0 на глобальні логістичні ланцюги, а також особливості валютного регулювання у міжнародній діяльності логістичних підприємств [1].

МЕТА

Метою дослідження є розробка науково обґрунтованих підходів і практичних рекомендацій для забезпечення міжнародної конкурентоспроможності логістичних підприємств України на основі інтеграції технологій Індустрії 4.0 в умовах валютного регулювання.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЛОБАЛЬНОЇ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ

Міжнародна конкурентоспроможність логістичних підприємств є критичним фактором їхньої здатності функціонувати на ринку та ефективно взаємодіяти з міжнародними партнерами.

Одним із ключових факторів, що визначають міжнародну конкурентоспроможність, є інноваційний підхід до реалізації логістичних процесів.

Впровадження новітніх технологій, таких як блокчейн – для забезпечення прозорості та безпеки транспортних перевезень, штучний інтелект – для прогнозування попиту на автономні транспортні засоби для зниження витрат на перевезення, значно підвищують рівень ефективності роботи компаній. Інновації надають змогу знижувати витрати на операції, підвищувати рівень точності планування і забезпечувати швидке реагування на зміни в попиті чи ситуації на ринку.

Адаптація до регіональних особливостей також має суттєве значення для конкурентоспроможності. Інтеграція з глобальними ланцюгами постачання надає змогу логістичним підприємствам отримати доступ до нових ринків і покращити свою ефективність роботи. Взаємодія з міжнародними компаніями через використання спільних технологічних платформ або участь у крупних міжнародних проектах надає змогу оптимізувати процеси доставки, зменшити витрати та підвищити рівень якості обслуговування клієнтів.

Інтеграція технологій Індустрії 4.0 у логістичних підприємствах сприяє не лише автоматизації процесів, але й підвищенню їхньої здатності адаптуватися до швидко змінюваних умов глобального ринку. Технології штучного інтелекту та аналізу великих даних допомагають прогнозувати попит, знижувати витрати та підвищувати точність планування, що значно посилює конкурентоспроможність. Крім того, адаптація до міжнародних стандартів, зокрема у сфері безпеки та екології, разом з використанням цифрових платформ для автоматизації бізнес-процесів, надає можливість підприємствам покращувати взаємодію з міжнародними партнерами та зменшувати адміністративні витрати [2; 3].

ВАЛЮТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ

Валютне регулювання є важливою складовою, яка впливає на міжнародну діяльність логістичних підприємств. Воно визначає правила здійснення операцій із валютними цінностями, включаючи курсові ризики, репатріацію прибутків і умови використання валютних рахунків.

Для українських підприємств актуальними викликами є обмеження на конвертацію національної валюти, складність валютних розрахунків у нестабільних економічних умовах і необхідність дотримання міжнародних стандартів фінансового контролю. Це може ускладнювати побудову стійких і конкурентоспроможних ланцюгів постачання.

Проте валютне регулювання також створює нові можливості. Наприклад, впровадження електронних платформ для здійснення платежів і обміну валют (форекс-платформ), використання смарт-контрактів на основі блокчейн для автоматизації розрахунків, а також розвиток криптовалют як альтернативного засобу фінансової взаємодії на міжнародних ринках.

Валютне регулювання для логістичних підприємств України потребує врахування глобальних економічних тенденцій, таких як зміна підходів до валютного контролю в умовах цифровізації фінансів. Зокрема, використання інструментів штучного інтелекту для моніторингу валютних ризиків може підвищити рівень ефективності управління фінансовими потоками. Додатково, адаптація до стандартів міжнародних регуляторних органів (FATF, ISO)

сприятиме інтеграції у світові ланцюги постачання [2; 3].

ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ІНДУСТРІЇ 4.0

Індустрія 4.0 є важливим рушієм змін у сучасній економіці, що ґрунтується на активній інтеграції цифрових технологій у різні виробничі та логістичні процеси. Основними характеристиками цієї концепції є широке використання інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (AI), автономних систем і блокчейн-технологій, що надає змогу значно підвищити рівень ефективності підприємств [2].

Для логістичних компаній це означає автоматизацію ключових процесів, покращення системи управління ланцюгами постачання, зниження витрат і підвищення точності прогнозування попиту, що, своєю чергою, оптимізує всі етапи логістичної діяльності. Важливим елементом є також застосування цифрових двійників для точного моделювання та аналізу різноманітних операцій, що надає можливість більш ефективно коригувати стратегії управління.

Крім того, інтеграція інноваційних технологій підвищує адаптивність логістичних систем до зовнішніх змін, таких як зміни в глобальній економіці або в регуляторному середовищі, що є особливо важливим для українських підприємств, які прагнуть укріпити свої позиції на міжнародному ринку [1; 3].

ВИСНОВКИ

Згідно з результатами дослідження, для підвищення рівня міжнародної конкурентоспроможності логістичних підприємств України важливим є впровадження технологій Індустрії 4.0, таких як IoT, штучний інтелект і блокчейн. Це дозволяє автоматизувати процеси, знижувати витрати та покращувати точність прогнозування.

Валютне регулювання відіграє важливу роль у забезпеченні стабільності підприємств. Адаптація до валютних обмежень і впровадження нових технологій, зокрема смарт-контрактів та електронних платформ для обміну валют, сприяє зниженню ризиків і забезпечити ефективні валютні розрахунки.

Також важливим є інтегрування з міжнародними ланцюгами постачання для підвищення рівня ефективності та якості обслуговування клієнтів, що сприяє зміцненню позицій на глобальному ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Massachusetts Institute of Technology (MIT). (2023). Digital Supply Chain Transformation.
- [2] Проблеми та перспективи розвитку Індустрії 4.0 в Україні. (2022). Науковий вісник ЛНУ, 4(2). URL: <https://science.lpnu.ua/uk/smeu/vsi-vypusky/vypusk-4-nomer-2-2022/problemy-ta-perspektyvy-rozvytku-industriyi-40-v-ukrayini-za>
- [3] Шкригун, Ю. О. (2021). Теоретичні підходи до визначення поняття «Цифрова логістика». Економічний вісник Донбасу, (3), 16-22. URL: [http://www.evd-journal.org/download/2021/3\(65\)/16-Shkryhun.pdf](http://www.evd-journal.org/download/2021/3(65)/16-Shkryhun.pdf).

УДК 657.1

В.В. Бидзан, студент гр. ЛЦ-11, к.е.н., доц. Скоробогатова Н.Є.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОБЛЕМИ КАДРОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЧОГО СЕКТОРУ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ В КРИЗОВИХ УМОВАХ

Анотація. У даній статті досліджено динаміку чисельності зайнятого населення по галузях економіки України, визначено особливості залучення працівників у розрізі великі, середні, малі та мікропідприємства. Авторами систематизовано основні проблеми кадрового забезпечення виробничого сектору національної економіки та надано пропозиції щодо їх вирішення. Проведене дослідження дозволило виявити потенційні резерви для підвищення ефективності людських ресурсів на виробничих підприємствах.

Ключові слова: кризові умови, кадрове забезпечення, ефективність, національна економіка, науково-технічний прогрес.

ВСТУП

Війна завдала не тільки руйнування інфраструктури й біль від втрати людей, але й загострила ряд проблем і відстрочила чи уповільнила реалізацію цілей сталого розвитку України на період до 2030 року [1]. З початку повномасштабного вторгнення загальна сума непрямих втрат, які були та будуть завдані Україні, оцінюються в \$1,164 трлн (виручка) або понад \$385 млрд (додана вартість). Втрати доданої вартості перевищують ВВП України в 2021 році майже вдвічі. З точки зору виручки найбільші суми непрямих втрат припадають на продуктивні сектори. Це торгівля (\$450,5 млрд), промисловість разом з будівництвом та послугами (\$410 млрд), та сільське господарство (\$83,1 млрд). Також великих втрат зазнали головні інфраструктурні сектори — енергетика та транспорт (\$43,1 млрд та \$38,8 млрд, відповідно) [2]. В кризових умовах, окрім фінансово-економічних проблем, гостро постає питання кадрового забезпечення.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На основі даних Державної служби статистики України було проведено дослідження тенденцій щодо кадрового забезпечення підприємств в галузевому розрізі з врахуванням їх розподілу за розмірами (рис. 1 – 3).

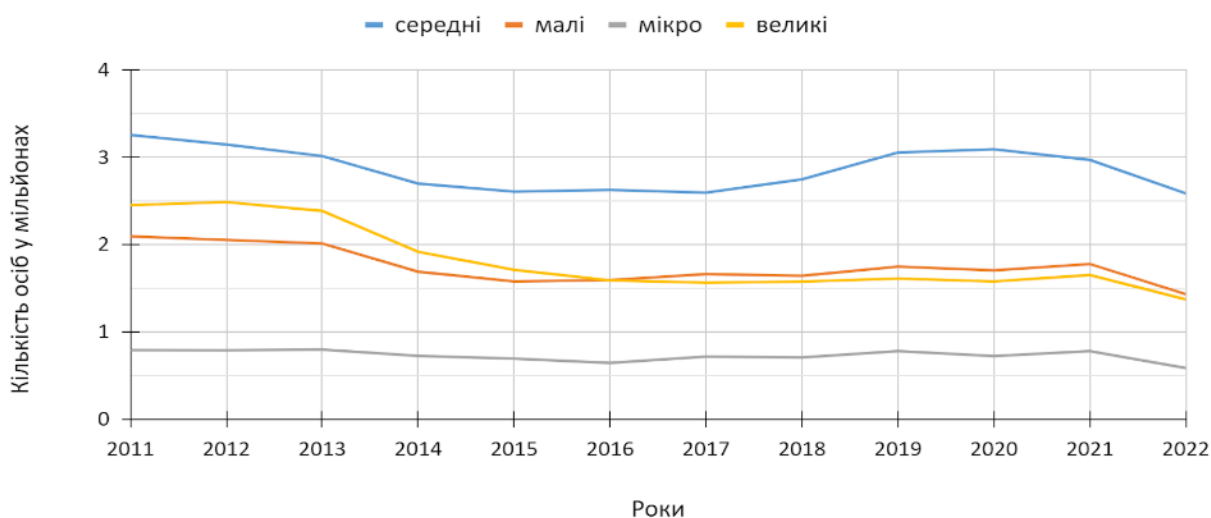


Рисунок 1 - Динаміка кількості зайнятих працівників (побудовано за даними [3])

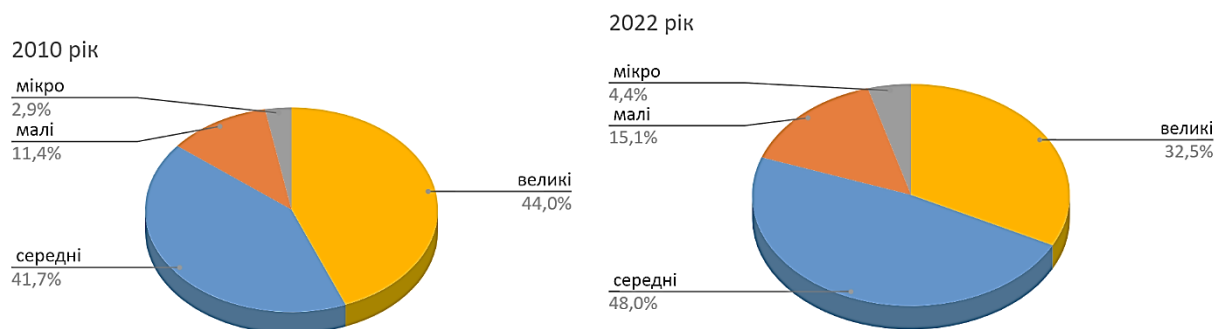


Рисунок 2 – Розподіл кількості зайнятих працівників у промисловості за 2010 і 2022 р. (побудовано за даними [3])

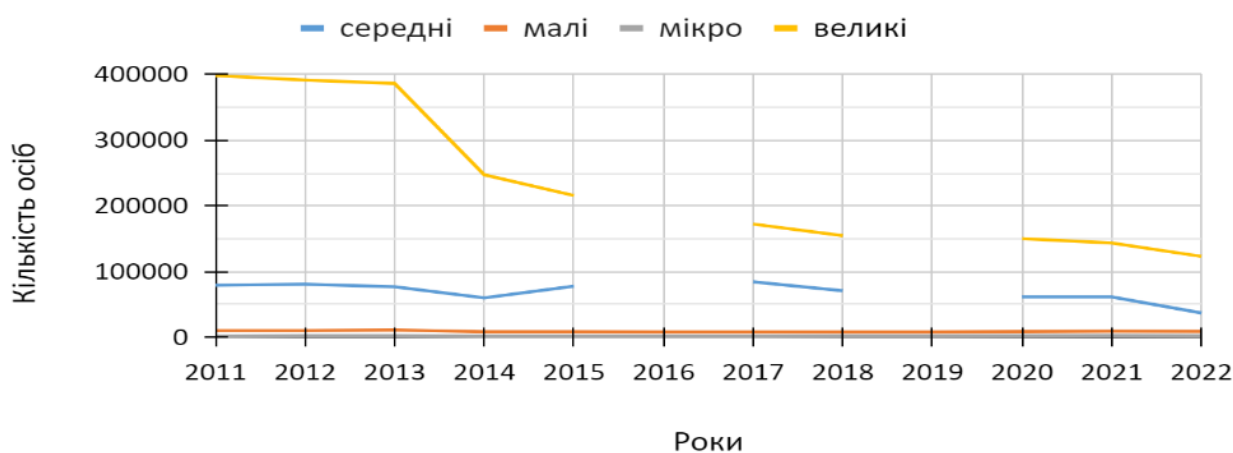


Рисунок 3 - Динаміка чисельності зайнятих працівників у добувній промисловості (побудовано за даними [3])

Безумовно, зі скороченням чисельності населення скорочується чисельність зайнятих працівників, що найбільш помітно в промисловості, а саме в добувній промисловості. Однією зі специфічних проблем скорочення чисельності найманих працівників на великих підприємствах є той факт, що більшість з них є пострадянськими. Відповідно, вони були розраховані на велику кількість державних замовлень, що зробило їх надлишковими в сучасних умовах. Аналіз статистичних даних по переробній промисловості, до якої належить і целюлозно-паперова, показує зростання частки мікро- та середніх підприємств, що означає порівняно більшу гнучкість даного сектора.

Проблеми кадрового забезпечення виробничого сектора економіки – це комплексна проблема, яка потребує комплексного вирішення. Безумовно, війна є головним чинником, що негативно позначається на всіх сферах соціально-економічного життя суспільства. Водночас, слід відзначити загальні причини, що також впливають на виникнення даної проблеми. До них слід віднести нестачу кваліфікованих робочих кадрів з виробництва, оскільки останнім часом більше частина абітурієнтів обирала для вступу соціально-гуманітарні напрями навчання, а наявні кадри доходили до пенсійного віку. Це, у свою чергу, призводить до старіння робочої сили та дефіциту молодих фахівців. Також необхідно враховувати низький престиж робітничих професій, особливо серед

молоді, що в цілому призводить до невідповідності системи освіти до потреб ринку праці. Серед соціально-економічних чинників поглиблення проблем кадрового забезпечення є низький рівень заробітної плати, нестабільні умови праці, міграція працездатного населення до зарубіжних країн, розрив між освітніми програмами та реальними потребами виробництва, тощо. Найбільш небезпечною загрозою в цілому для демографії країни є зниження народжуваності та чисельності молодого населення. Безумовна така ситуація має негативні наслідки для економіки [4], а саме: зниження продуктивності праці, уповільнення технологічного розвитку та інновацій, зростання витрат за перепідготовку кадрів і адаптацію нових співробітників, збільшення залежності від імпорту товарів та технологій, тощо.

ВИСНОВКИ

Таким чином, в результаті дослідження визначено негативну тенденцію щодо скорочення чисельності найманих працівників на виробничих підприємствах України та систематизовано основні причини даної ситуації. З метою подолання наведених проблем пропонуємо вжиття наступних заходів: стимулювання робітничих професій шляхом підвищення рівня заробітної плати, покращення умов праці, проведення інформаційних кампаній; впровадження освітньої реформи через розвиток програм дуального навчання, створення спеціалізованих навчальних центрів на підприємствах; активна державна підтримка, використовуючи субсидії на навчання працівників, програми працевлаштування молоді, тощо; поглиблення використання інноваційних технологій Індустрії 4.0 таких, як автоматизація рутинних процесів та підготовка кадрів для роботи з високими технологіями; удосконалення міграційної політики з метою повернення та залучення кваліфікованих робітників з-за кордону.

Аналіз досвіду країн, які змогли вирішити проблему кадрового забезпечення, свідчить про реальність досягнення поставлених цілей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року: Указ Президента України від 30 вересня 2019 року № 722/2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>
- [2] Київська школа Економіки. Звіт про непрямі фінансові втрати економіки внаслідок військової агресії росії проти України станом на 1 липня 2024 року. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/10/30.09.24_Losses_Report-ua.pdf
- [3] Державна служба статистики України: офіційний сайт. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
- [4] Skorobogatova N. Formation of Sustainable Development of Competitive Business in an Unstable Economy. IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). 2022. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9922912>
<https://doi.org/10.1109/SAIC57818.2022.9922912>

УДК 658.5.012.7+658.818

С. В. Войтко, завідувач кафедри міжнародної економіки, д.е.н., проф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

**ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБНИЧОЇ СТРУКТУРИ ТА СУПРОВОДЖЕННЯ
ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОДУКТУ INDUSTRY 4.0**

Анотація Окреслено характеристиками гігафабрики та їхні складові, у тому числі й з використанням інструментарію Industry 4.0. Розглянуто роль оброблення значних масивів інформації для прийняття рішень управлінцями, інженерами, технологами для удосконалення процесів виробництва та експлуатації. Зосереджено увагу на модульній структурі гігафабрики, яка використовує засади Industry 4.0. Надано перелік трендів уніфікації виробу, новітніх трендів у проектуванні виробничої структури та супроводженні життєвого циклу продукту.

Ключові слова: гігафабрика, Industry 4.0, життєвий цикл продукту, інфраструктура

ВСТУП

Стосовно створення новітньої, на засадах Industry 4.0, виробничої бази України після нашої перемоги, то варто нам зосередитися на проектуванні, будівництві та введенні в експлуатацію «розумних фабрик» і гігафабрик. Вже існують гігафабрики «Тесла Моторс», «Тахо Рено», «SolarCity», «Гіга Шанхай», «Мегараск», будуються й інші. Основними відмінними характеристиками таких фабрик є досить великі розміри, їхня модульна конструкція, складовою якої також є технології інтернету речей та штучного інтелекту, що безпосередньо інтегруються у кібер-фізіологічні системи [1]. Зазначимо, що у процесі проектування конструкції гігафабрики створюється також віртуальна копія (цифровий двійник, огляд у [2]) її матеріального середовища, яке містить як технологічні процеси виробництва продукту, так і модель етапу експлуатації продукту чи продуктів, що будуть виготовлятися [3].

ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ І СУПРОВОДЖЕННЯ В INDUSTRY 4.0

Моніторинг за функціонуванням об'єкту (наприклад, гігафабрики) з використанням інструментарію Industry 4.0 формує значний масив даних, оброблення якого надає особам, що приймають управлінські рішення, всю необхідну інформацію стосовно виробничих процесів і функціонування будівлі. А спостереження за плином життєвого циклу продукту, своєю чергою, також формує значний масив даних. Це надає розширені можливості розробникам удосконалювати продукт (продукти) та сприяти подальшому зростанню рівня конкурентоспроможності продуктів.

Моніторинг об'єктів формує значні обсяги інформації, що потребує крупних сховищ даних з можливостями довгострокового зберігання цієї інформації. Загалом, значні обсяги інформації формують, своєю чергою, нову категорію в Industry 4.0 – «великі дані» (англ. Big Data).

Результати оброблення значних масивів інформації про функціонування виробничого обладнання на підприємстві та про етап експлуатації продукції у споживача надають широкі можливості для прийняття рішень управлінцями, інженерами, технологами стосовно удосконалення процесів виробництва та експлуатації. Наголосимо, що управлінські рішення у середовищі Industry 4.0 можуть прийматися й децентралізовано, у багатьох випадках можливе навіть

невтручання управлінського, інженерного, допоміжного чи обслуговуючого персоналу у виробничі процеси. Інженерні та технологічні рішення приймаються лише профільними фахівцями, а результати оброблення значних масивів інформації у царині конструювання і проектування є додатковим багажем до знань, умінь і навичок інженерів і технологів.

Отже, раціональне використання отриманих знань на основі аналізу Big Data формує концепцію «розумної фабрики». Адже фабрика тривалий час генерує величезний масив інформації про своє функціонування. Хмарні (англ. Cloud) обчислення цих даних виявляють закономірності та особливості плину технологічних процесів у реальному часі. Оброблення цих даних надає змогу генерації рекомендацій для відповідальних осіб стосовно управління цими процесами. У багатьох випадках результати обробки даних можуть бути використані у автоматизованому управлінні цією гігафабрикою. Саме у цьому полягає доречність використання поняття «розумний» у концепції «розумних фабрик». Використання потужних комп'ютерних систем з відповідним програмним забезпеченням надає можливість керувати досить складними виробничими процесами та сервісами як на рівні цеху гігафабрики, так і на рівні підприємства у цілому. Загалом, при наявності достатніх обчислювальних потужностей з'являється можливість подальшого розвитку системи до рівня транснаціональної, тобто до глобального рівня.

Модульна структура гігафабрики, яка використовує засади Industry 4.0, вирішує не тільки виробничі завдання на гігафабриці, а й опосередковано, з використанням інформації зворотного зв'язку про функціонування продукту (продуктів) на етапі експлуатації, надає змогу удосконалювати цю фабрику та поліпшувати технологічні процеси на ній.

Тут слід зазначити, що значна кількість продуктів Industry 4.0 має ознаки унікальності. Електронна схема продукту містить мікроконтролер. У цьому електронному приладі розміщений унікальний номер, який присвоює виробник. За цими номерами можна ідентифікувати кожен виріб. Це надає можливість, за необхідності, відслідкувати практично усі етапи життєвого циклу цього виробу.

Знання про перебіг виробничих процесів, про місце та час реалізацій виробу у комерційній мережі та про експлуатацію виробу надає можливість удосконалювати цей продукт, враховувати виявлені недоліки при проектуванні виробів наступних поколінь і поліпшувати процеси виробництва.

Продукти Industry 4.0 можна ідентифікувати через мережу інтернет. При цьому можна отримати основні показники експлуатації виробів. Фахівці при цьому мають можливість проаналізувати особливості виробництва та експлуатації цих виробів.

Використання можливостей мікроконтролерних систем надає змогу дистанційно, за необхідністю чи автоматично оновлювати програмне забезпечення у виробі як у процесі виготовлення впродовж тривалого часу виробництва, так і на етапі експлуатації виробу. Це надає змогу виправляти виявлені помилки у програмному забезпеченні. Це підвищує якість виробу, а значить його конкурентоспроможність.

Також вироби з мікроконтролерами, у яких є можливість оновлювати

програмне забезпечення, можна робити унікальними з метою максимальної адаптації до запитів і потреб споживача. Зазначене сприяє розвитку тренду виготовлення унікальних товарів під замовлення споживача. До того ж підприємство-виробник може здійснювати перепрограмування за додаткову платню. А це вже буде додатковий дохід для підприємства, який може бути спрямований на його розвиток чи на інші цілі.

Наразі, поряд із зазначеним вище трендом уніфікації виробу набувають розвитку й новітні тренди у проектуванні виробничої структури та супроводження життєвого циклу продукту. Їхню основу складає таке:

- IoT («інтернет речей») як складова Industry 4.0 виробу;
- PoT («індустріальний інтернет речей») як складова Industry 4.0 виробничих процесів;
- Cloud Computing («хмарні обчислення») як складова Industry 4.0 для оброблення значних обсягів даних, які генерують виробничі процеси та експлуатація виробу;
- Big Data («великі дані») як складова Industry 4.0 для класифікації та структуризації даних;
- Wireless Communication («бездротові технології») як радіотехнічна технологія для зв'язку через ефір між елементами системи;
- Remote & Mobile Access («віддалений та мобільний доступ») як складова дистанційного керування технологічними процесами та виробом;
- 3D Printing («тривимірний друк») як складова Industry 4.0 для швидкого та дешевого прототипування майбутніх деталей, вузлів і виробів на початкових етапах проектування і відпрацювання технології.

Вищезазначене стосується рівнів виробу та технологій виробництва. Окрім зазначених рівнів існують ще рівні підприємства – це Smart або Digital Factory. Вже з'явилася концепція Smart City («розумне місто»). Все це підштовхнуло суспільство до подальшого розвитку від цифровізації (Digitalization) до цифрової економіки (Digital Economy).

ВИСНОВКИ

Отже, на сьогодні платформа Industry 4.0 стосується як проектування виробів і розроблення технологій виробництва, так і реалізації товарів на споживчому ринку. Не залишаються осторонь й етап експлуатації виробу споживачами, а також у межах «зеленої» економіки й етап утилізації цих виробів після використання. У перспективі ця платформа Четвертої технологічної революції вийде й на глобальний рівень управління життєвим циклом товару, виготовлення яких буде здійснюватися на гігафабриках. Вже передумови для цього є.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Venkat R. B. Industry 4.0: Revolutionizing the Future of Manufacturing and Automation / R. B. Venkat // Innovative Computer Science Journal, 2024. – 10(1). – P. 1–20. URL: <https://innovatesci-publishers.com/index.php/ICSJ/article/view/335/358>

- [2] Jiewu Leng. Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review / Jiewu Leng, Dewen Wang, Weiming Shen, Xinyu Li, Qiang Liu, Xin Chen // Journal of Manufacturing Systems, 2021. – Vol. 60. – P. 119–137. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612521001151>
- [3] Aduino Bueno, Moacir Godinho Filho, Alejandro G. Frank. Smart Production Planning and Control in the Industry 4.0 Context: A Systematic Literature Review / Aduino Bueno // Computers & Industrial Engineering, 2020. – Vol. 149. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106774>

УДК 681.2: 621.31: 004.9

О.О. Зробок, аспірант гр. УС-21ф
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МІЖНАРОДНЕ НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО В ЕЛЕКТРОПРИЛАДОБУДУВАННІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0

Анотація. У статті розглядається роль міжнародного науково-технічного співробітництва (МНТС) в розвитку галузі електроприладобудування в умовах Індустрії 4.0. Особлива увага приділяється дуальній освіті та співпраці університетів з промисловістю для підготовки кваліфікованих кадрів у сферах електротехніки, електроприладобудування та енергетичного машинобудування. Досліджуються приклади міжнародних проектів та фінансування, що сприяють розвитку інновацій, смарт-технологій та енергоефективних рішень. Підкреслюється важливість участі України у міжнародних дослідницьких ініціативах, таких як Horizon Europe, та створення спільних центрів для розробки новітніх технологій. Аналіз показує, що МНТС у сфері електроприладобудування є важливим фактором для підвищення конкурентоспроможності підприємств електроенергетики, але також вказує на необхідність модернізації виробничої бази та підготовки кадрів для роботи з новими технологіями.

Ключові слова: МНТС, моделі МНТС, дуальна освіта, міжнародний грант, міжнародний стартап-проект, електроприладобудування, електроенергетика, міжнародна конкурентоспроможність підприємства.

ВСТУП

Міжнародне науково-технічне співробітництво (МНТС) в електроприладобудуванні набуває особливої актуальності в умовах Індустрії 4.0, що характеризується стрімким розвитком «розумних» цифрових технологій, кіберфізіологічних систем, автоматизації та штучного інтелекту. Інтеграція інноваційних рішень у виробничі процеси потребує тісної співпраці між країнами, дослідницькими установами та промисловими підприємствами для забезпечення конкурентоспроможності на глобальних ринках. У цьому контексті ефективний обмін знаннями, технологіями та досвідом сприяє підвищенню продуктивності та якості електроприладів. Дослідження цього питання є необхідним для визначення перспектив та викликів, які стоять перед електроприладобудуванням.

МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає в аналізі та визначенні ефективних підходів до розвитку МНТС в електроприладобудуванні в умовах Індустрії 4.0. Відповідно до визначеної мети поставлено такі завдання: проаналізувати існуючі моделі МНТС, які можна адаптувати до електроприладобудування; дослідити можливості та виклики розвитку МНТС у електроприладобудуванні в умовах Індустрії 4.0 з метою підвищення міжнародної конкурентоспроможності підприємств електроенергетики.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

A.V. Szarka [1] обговорює дуальну освіту і співпрацю університетів з промисловістю у галузі електротехніки, електроприладобудування та енергетичного машинобудування, що є ключовими аспектами підготовки спеціалістів з Індустрії 4.0 у цих сферах. Основна ідея автора полягає в тому, що інтеграція освіти та промисловості через модель дуальної освіти сприяє підвищенню кваліфікації кадрів та їх готовності до викликів в умовах Індустрії 4.0. Це має пряме відношення до міжнародного співробітництва, оскільки

підготовка інженерів і впровадження передових технологій в електроприладобудуванні часто вимагають міжнародного обміну знаннями та практиками.

Розділ Funding у науковій статті М. Martínez-Gómez та ін. [2], яка присвячена покращенню мікромереж і електроенергетичних систем (що відповідає ключовим вимогам Індустрії 4.0), демонструє, як міжнародне фінансування і координація можуть сприяти дослідженням у сфері електроприладобудування. Як зазначено в цьому розділі, дослідження [2] фінансується різними організаціями з кількох країн, зокрема Чилі (ANID), Бразилії (CNPq, FAPESP), та регіональними фондами, такими як Mato Grosso Research Foundation. Це свідчить про високий рівень міжнародного співробітництва, що є важливим аспектом Індустрії 4.0, яка потребує міждисциплінарних і транскордонних досліджень. Також у розділі цієї роботи [2] йдеться про залучення університетських фондів, як-от UNAB Regular funds, та програм підтримки аспірантів (ANID-Becas) при написанні цієї наукової статті, що вказує на важливість підготовки кадрів у глобальному контексті, де Індустрія 4.0 вимагає сучасних знань і технологій. Завдяки МНТС це дослідження було профінансоване з різних джерел, що дозволило зосереджуватися на вузькоспеціалізованих напрямках, таких як розподілене управління компенсаторами якості електроенергії.

Дослідження про співпрацю між Німеччиною та Сербією у сфері розробки стартап-проектів [3] ілюструє такі моделі міжнародного науково-технічного співробітництва, як зокрема мережеві ініціативи та обмін делегаціями для налагодження прямих контактів. Ключовим аспектом є створення платформ для спільної роботи університетів, дослідницьких інститутів і підприємств, спрямованих на впровадження інновацій та обмін знаннями. Такі моделі передбачають двосторонній трансфер технологій і спільне фінансування проектів, що стимулює розвиток технологій у стратегічних галузях, зокрема електроприладобудуванні. Ці підходи можуть бути адаптовані до умов Індустрії 4.0 через інтеграцію сучасних цифрових платформ, автоматизацію співпраці та акцент на міждисциплінарні проекти, спрямовані на розвиток смарт-систем.

У статті [4] підкреслюється історичне значення Національної академії наук України (НАНУ) у формуванні наукових шкіл, розвитку матеріалознавства, електротехніки та автоматизації, які є основою для електроприладобудування. В умовах Індустрії 4.0 НАНУ може використовувати свої традиційні напрацювання для розвитку смарт-технологій, таких як кіберфізіологічні системи, зокрема через участь у консорціумах для розробки новітніх стандартів і технічних рішень. У галузі електроприладобудування доцільно адаптувати такі моделі МНТС, як створення спільних дослідницьких центрів, міжнародних технологічних платформ і участь у грантових програмах ЄС, таких як Horizon Europe. Це дозволить інтегрувати дослідження НАНУ в глобальні мережі знань, стимулюючи обмін інноваціями та технологіями. Окрім цього, перспективними є моделі відкритих інновацій, коли результати наукових досліджень стають доступними для промисловості, що сприятиме розвитку смарт-рішень.

Результатом дослідження на основі проаналізованих матеріалів є те, що розвиток МНТС у галузі електроприладобудування в умовах Індустрії 4.0

відкриває значні можливості для підвищення міжнародної конкурентоспроможності підприємств електроенергетики України, зокрема через інтеграцію смарт-технологій та розвиток кіберфізіологічних систем. Це сприяє впровадженню енергоефективних рішень, адаптації до глобальних екологічних стандартів і залученню міжнародних інвестицій. Водночас виклики включають необхідність модернізації виробничої бази, нестачу висококваліфікованих кадрів для роботи з новими технологіями та складність інтеграції українських підприємств у глобальні інноваційні мережі через нормативно-правові та економічні бар'єри. Подолання цих викликів потребує державної підтримки, розширення доступу до міжнародних грантових програм і активізації співпраці з іноземними НДІ для трансферу технологій та знань.

ВИСНОВКИ

1. Інтеграція дуальної освіти та співпраця університетів з промисловістю в галузі електротехніки та енергетичного машинобудування сприяє підготовці кадрів до викликів Індустрії 4.0.
2. Міжнародне фінансування та координація, такі як підтримка різних національних і регіональних фондів, стимулюють дослідження в галузі електроприладобудування та сприяють розвитку Індустрії 4.0.
3. Моделі міжнародного співробітництва, як мережеві ініціативи та обмін делегаціями, підтримують трансфер технологій і інновацій, що важливо для електроприладобудування в умовах Індустрії 4.0.
4. НАНУ відіграє важливу роль у розвитку МНТС, інтегруючи фундаментальні дослідження з прикладними технологіями Індустрії 4.0.
5. Розвиток МНТС в електроприладобудуванні в умовах Індустрії 4.0 відкриває можливості для підвищення конкурентоспроможності електроенергетики України, але потребує подолання викликів, таких як модернізація виробництва і підготовка кваліфікованих кадрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Szarka, A. V. (2016, November). Dual education and industrial cooperation in electrical engineering. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 772, No. 1, p. 012053). IOP Publishing.
- [2] Martínez-Gómez, M., Burgos-Mellado, C., Morales-Paredes, H. K., Gómez, J. S., Verma, A. K., & Bonaldo, J. P. (2023). Distributed Control Scheme for Clusters of Power Quality Compensators in Grid-Tied AC Microgrids. *Sustainability*, 15(22), 15698. DOI: <https://doi.org/10.3390/su152215698>.
- [3] **Start up Europe**, Berlin Adlershof. (2003). *Germany-Serbian cooperation: Trip to Belgrade, 15-18 May 2003*. CiteSeerX. Retrieved November 24, 2024, from <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=40fee45469353f8da1317c4178c257ceed01b394>
- [4] Baranov M.I., Rozov V.Yu., Sokol E.I. To the 100th anniversary of the National Academy of Sciences of Ukraine – the cradle of domestic science and technology. *Electrical engineering & electromechanics*, 2018, no.5, pp. 3-11. DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2018.5.01>.

УДК 336.24.07+336.225.2(477)

*Д.В. Пашко, д.е.н., доц., П.В. Пашко, д.е.н., проф., засл. діяч науки і техніки
України*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МИТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Анотація. Стаття присвячена міжнародному науково-технічному співробітництву в приладобудуванні, формуванні новітніх інформаційних програм спільного міжнародного використання, використанню штучного інтелекту для обробки інформації, інтеграції інформаційних технологій в промисловість для забезпечення не тільки виробничих процесів, але і фіксуванню переміщення товарів, їх складових, за частин тощо між виробниками, покупцями та продавцями, між країнами та підприємствами, що надасть можливість підвищити рівень контролю, у тому числі митного, за виробництвом та використанням товарів і, таким чином, підвищить безпеку і держав, і громадян одночасно зменшив час на проведення контролю та забезпечив прискорене вільне переміщення товарів через митні кордони.

Ключові слова: митна політика, митні інтереси, митниця, митна справа, зовнішньоторгові операції.

Світова організація торгівлі, регулюючи процеси переміщення товарів між країнами, має не меті спрощення процедур митного оформлення, скорочення часу на митний контроль. Але вимоги часу, що направлені на боротьбу та недопущення міжнародного тероризму, який також використовує переміщення небезпечних товарів (речовин, пристроїв, вибухівки тощо) через кордони вимагає посилення митного контролю.

Шляхи вирішення такого завдання були сформульовані Всесвітньою митною організацією в Рамкових стандартах безпеки [1], які переміщують сили митниці по контролю на ризикові товари та на ризикових суб'єктів ЗЕД, спрощуючи контроль до тих суб'єктів, які підтверджують свою порядність.

Важливою складовою визначення порядності суб'єктів ЗЕД є отримання інформації саме про ці підприємства та про їх операції з товарами.

У зв'язку з тим, що товари до країн потрапляють, перетинаючи іноді багато кордонів, стає питання отримання та обробці інформації про весь ланцюг постачання товару.

Мета митної служби кожної країни – забезпечити головний митний інтерес: організувати та провести достовірний контроль умов перетинання товарами митного кордону, виконуючи його швидко та зрозуміло просто.

Досягнення такого рівня контролю можливе тільки із використанням та розширенням в технологіях як митного контролю, так і податкового та інших видів контролю за товарами, саме інформаційної складової з управління ризиками, централізованої обробки інформації, пост-аудит контролю із використанням штучного інтелекту для обробки усього об'єму інформації про товар, у тому числі міжнародної митної інформації.

В межах такого міждержавного та міжвідомчого контролю митниця може цього досягнути шляхом модернізації автоматизованої системи, яка зможе розділяти суб'єктів ЗЕД на тих, що підлягають спрощеному контролю та таких, що потребують в кожному конкретному випадку підвищеного митного контролю; визначати мінімальний об'єм обов'язкових форм контролю як для суб'єктів ЗЕД, так і для товарів, що визначені ризиковими (по їх задекларованим показникам та по оперативної інформації).

Критеріями визначення спрощеного контролю можуть за основу взяти вимоги, найбільш детально описані в вимогах до Авторизованого економічного оператора: ведення суб'єктом ЗЕД діяльності відповідно до стандартів безпеки ланцюгу поставок, здійснення ними відповідних інвестицій в сферу укріплення систем безпеки підприємства, достовірність наданої митниці інформації, чесне декларування і сплата митних платежів у повному обсязі протягом тривалого часу [2].

Відносно до таких суб'єктів ЗЕД митниця зобов'язується на довіру відповідати довірою, яка у відповідності до законодавства представить право в зменшенні об'єму інформації, що надається митниці для цілей митного оформлення, прискорить проходження контролю для товарів незначного ризику, знизить кількості та глибини митних перевірок, ввести пріоритети митного оформлення в умовах виникаючих форс-мажорів, унеможливити упередженості тощо. Максимальною формою довіри повинне стати законодавче визначення можливості подання митниці інформації про переміщені через митний кордон та випущені у вільний обіг товари без їх фактичного фізичного пред'явлення митникам. Частково це вже реалізовано в системі Авторизованого економічного оператора.

Важливим в вирішенні питань отримання інформації стає міжнародне науково-технічне співробітництво в приладобудуванні, формуванні новітніх інформаційних програм спільного міжнародного використання, використанні штучного інтелекту для обробки інформації, інтеграція інформаційних технологій в промисловість для забезпечення не тільки виробничих процесів, але і фіксуванню переміщення товарів, їх складових, запчастин тощо між виробниками, покупцями та продавцями, між країнами та підприємствами, що створює можливість підвищити рівень контролю, у тому числі митного, за виробництвом та використанням товарів і, таким чином, підвищить безпеку та держав, і громадян одночасно зменшив час на проведення контролю та забезпечив прискорене вільне переміщення товарів через митні кордони.

Довіра не виключає права митниці проводити вибірковий контроль суб'єктів ЗЕД, які отримали від держави право на спрощений контроль. Таким чином можливо забезпечити баланс пріоритетів між об'ємом митного контролю та його спрощенням, баланс між затратами держави на досягнення необхідного рівня митної безпеки та її некритичного зменшення від незначного об'єму товарів, які при переміщенні через митний кордон, не були проконтрольовані митницею.

Цей баланс можливо досягти, побудувавши систему збору цифрової інформації від різних джерел на ланцюгах переміщення товарів з різних країн: це і вага, і вартість, і стан товару, і відправники та отримувачі, і весь великий об'єм інформації про учасників переміщення товарів, сплату про їх послуги та розмір цих послуг. Важливою складовою цього балансу може стати інформація про добросовісність митників, що здійснюють митне оформлення цих товарів, перевізників, декларантів, керівників та власників митних складів, терміналів тощо. Частково таку інформацію митниця вже зараз може отримувати для європейських перевізників через участь в програмі спільного транзиту NCTS.

Найважливішою складовою митної діяльності для усіх митниць світу стає створення та використання механізмів отримання та передання митної інформації в електронному вигляді в режимі реального часу між країнами, митницями, суб'єктами ЗЕД. Такі механізми потребують створювати та втілювати в митні технології сучасні технічні системи.

Одним з викликів на цьому шляху – це використання такої інформації потенційними порушниками митного законодавства. Митниця в сучасних умовах повинна надійно захистити свою інформацію.

Модернізація технологій митного контролю товарів для прийняття автоматизованих рішень повинна врахувати необхідність обробки значних масивів інформації. Саме новітні технології в приладобудуванні можуть надати необхідні технічні рішення, які будуть накопичувати та обробляти цю інформацію.

Митниця є одним з механізмів реалізації митної політики, яка в свою чергу, є одним із засобів досягнення економічної могутності держави. І ця могутність може бути досягнута тільки спільними узгодженими діями, які можливо реалізувати вже сьогодні за рахунок введення контролю за рухом товарів від моменту їх ввезення на територію України до моменту продажу, що досягається введенням електронного міжвідомчого обліку товарів та використання інформації про них та підприємців, які їх переміщують, купують та продають [3; 4].

Технології передбачають зменшення та спрощення процедур на митному кордоні; переміщення контролю в середину країни; уніфікацію систем бухгалтерського, податкового, митного та аудиторського обліку та контролю; використання усіма контролюючими структурами уніфікованої системи аналізу та управління ризиками; використання штучного інтелекту для обробки масивів інформації.

Від реалізації запропонованого можливо очікувати на досягнення не тільки митних інтересів, але і загальних економічних інтересів держави: посиленню економіки України; розвитку, відновлення та розширення вітчизняного виробництва з високою доданою вартістю; збільшенню доходної частини державного бюджету; зменшенню корупційних проявів; прозорості, простоти та прогнозованості в оподаткуванні тощо.

Таку побудову всеохоплюючий системи контролю обрало багато країн світу.

Прикладом початку реалізації вказаної пропозиції на етапі контролю за транзитним переміщенням товарів може стати Нова комп'ютеризована транзитна система (NCTS), до якої вже приєдналася Україна [4].

Наступні етапи – контроль при імпорті, експорті, при визначенні та декларуванні митної вартості з її складовими, введення системи розширеного уніфікованого опису товарів.

Системи поширеного міждержавного та міжвідомчого контролю можуть та повинні базуватися на уніфікованій системі електронного обігу уніфікованої бухгалтерської, податкової та митної інформації, її звірки з уніфікованою інформацією від інших джерел як зовні, так і всередині країни.

Вже багато країн світу створили системи оподаткування, коли митні податки сплачуються всередині країни після підтвердження, що вони ввезені законно. Такий підхід передбачає, що цій контроль здійснює податкова контрольна служба, а митниця саме звертає свою увагу на безпекову функцію – контроль законності ввезення товару та на відповідність його характеристик встановленим параметрам.

Такий підхід спрощує процедуру контролю товару та одночасно підвищує його результативність, що, в свою чергу, зменшує джерело можливої корупції як на митниці, так і в податкових та інших контролюючих органах.

Реалізація цієї ідеї може бути досягнута шляхом приведення систем бухгалтерського та податкового обліку товарів всередині країни та системи обліку товарів зовнішньоекономічної діяльності, переміщення транспортних засобів через кордон до єдиних стандартів зі значним додатковим розширенням УКТ ЗЕД для цілей автоматизованої електронної ідентифікації товарів, використання такої класифікації не тільки на митниці, але і в структурах в середині країни на основі універсальних всесвітньо прийнятих ідентифікаторів (індикаторів подій/товарів) товарів, яким вони будуть маркуватися під час їх виробництва [5].

Це можливе лише з прийняттям рішення про введення такої маркування товарів для усіх країн світу, створенні приладів, які це будуть робити та зможуть швидко обробляти цю інформацію. Індустрія 4,0 дозволяє масово інтегрувати ці інформаційні технології у промисловість, створити прилади для використання міжнародного універсального індикатора події (товару) з маркуванні товару під час виробництва та його обробка на шляху постачання, використовуючи штучний інтелект.

Порівняння на електронному рівні товарів, які ввезені, та товари, які продані всередині країни, ліквідує основу для їх фальсифікації, дозволить контролювати не тільки їх митну вартість, як базу нарахування митних податків, але також бази нарахування внутрішніх податків. Майбутнє забезпечення безпеки використання товарів буде формуватися на основі міжнародного контролю за їх рухом, скоріш за все, на базі використання штучного інтелекту як основи аналізу ризиковості і для контролюючих органів, і для підприємців, і для громадян, які продають та купують ці товари [6].

Використання можливостей Індустрії 4,0 дозволить створити механізм, який буде більш ефективно працювати на забезпечення національних інтересів та безпеки України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Safe framework of standards 2021 / WCO. URL:<http://www.wcoomd.org/-/media/wco/public/global/pdf/topics/facilitation/instruments-and-tools/tools/safe-package/safe-framework-of-standards.pdf?la=en> - 01.12.2024.
- [2] Деякі питання реалізації положень Митного кодексу України щодо надання авторизації : Постанова Кабінету Міністрів України : від 27 вересня 2022 р. № 1092 // Київ - Офіційний вісник України. – 18.10.2022. - № 81, стор. 49, стаття 4934, код акту 114143/2022.

- [3] Пашко П.В., Пашко Д.В. Інституційне забезпечення координованої реалізації податкової та митної політики в Україні // *Фінанси України*, №5/2019. – С. 97–153. URL: <https://doi.org/10.33763/finukr2019.05.097> - 01.12.2024.
- [4] Про приєднання України до Конвенції про процедуру спільного транзиту : Закон України : від 30 серпня 2022 р. №2555-IX. // Верховна Рада України. – Київ. Офіційний вісник України. – 13.09.2022. - №71, стор. 136, стаття 4294, код акту 113475/2022.
- [5] Пашко П.В. Пропозиції можливої організаційної структури для втілення інституціонального механізму формування й реалізації податкової та митної політик / *Журнал Роботодавець*, 25.03.2019. - Режим доступу : <https://www.slideshare.net/slideshow/ss-138130471/138130471#27> - 01.12.2024.
- [6] Пашко, П., Пашко, Д., Мирошніченко, Г., & Штик, Ю. (2024). Щодо напрямків удосконалення митної політики та механізмів інноваційного розвитку митної справи. [Текст] // *Сталий розвиток економіки*, №3(50), 146-155. URL: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-50-23> - 01.12.2024.

УДК 339.9:[681.2: 621.31]:[338.2:004]

А.В. Хмарський, аспірант гр. УС-21ф
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНДУСТРІЯ 4.0 В ПРИЛАДОБУДІВНІЙ СФЕРІ: ВИКЛИКИ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА МІЖНАРОДНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО

Анотація. Висвітлено особливості впровадження концепції Індустрії 4.0 в приладобудівній сфері України. Окреслено основні виклики, що постають перед галуззю, та визначено перспективи її розвитку через інтеграцію інноваційних технологій. Особливу увагу приділено міжнародному науково-технічному співробітництву як важливому інструменту для стимулювання технологічного прогресу в умовах сучасних реалій.

Ключові слова: МНТС, трансфер технологій, приладобудування, екосистема, стартапи

ВСТУП

Індустрія 4.0 являє собою революційний підхід до організації виробничих процесів, заснований на цифрових технологіях, автоматизації та штучному інтелекті. У приладобудуванні цей підхід пропонує унікальні можливості для створення високоточних «розумних» виробничих систем. Для України, яка прагне інтегруватися у світові ринки та відновлювати промисловий потенціал, впровадження Індустрії 4.0 є стратегічним напрямом.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Основи та ключові складові Індустрії 4.0 для приладобудування.

Як зазначено в статті «Індустрія 4.0 та її вплив на країни світу» [3] «Індустрія 4.0 у сучасних умовах надає змогу збирати та аналізувати дані швидше та ефективніше, забезпечуючи при цьому виробництво якісніших товарів за нижчих витрат. Це, своєю чергою, надає змогу підвищити продуктивність виробництва, сприяє зростанню промисловості та змінює профіль робочої сили, внаслідок чого посилюється конкурентоспроможність підприємств та країн».

Індустрія 4.0 ґрунтується на застосуванні таких технологій:

- Інтернет речей (IoT): надає можливість інтегрувати прилади у єдину мережу для автоматичного обміну даними.
- Штучний інтелект (AI): оптимізує виробничі процеси з виробництва приладів завдяки аналізу даних і прогнозуванню.
- Віртуальна та доповнена реальність (VR/AR): застосовуються для прототипування приладів, моделювання і навчання персоналу.
- Хмарні обчислення: забезпечують зручне зберігання й обробку даних із мінімальними витратами.

Ці технології дозволяють максимально підвищити продуктивність, гнучкість та екологічність виробничих систем і технологічних процесів. Відповідно, прилади, які розроблені на основі Індустрії 4.0, надають можливість інтеграції у цифрові екосистеми, забезпечують високу точність виконання операцій, зменшують споживання енергії та ресурсів, а також сприяють зниженню витрат на обслуговування. Завдяки впровадженню «розумних» компонентів і підключенню до Інтернету речей, такі прилади здатні до самодіагностики, передбачення поломок та оперативного оновлення функціоналу. Це надає можливість не лише підвищити рівень ефективності

виробництва, а й швидше адаптуватися до змін на ринку та вимог споживачів.

Статистичний огляд. Світовий ринок Індустрії 4.0 демонструє стабільне зростання упродовж 10 років. У 2023 році його обсяг становив приблизно 136,4 млрд дол., і очікується, що він зростатиме з середньорічним темпом близько 18 % до 2032 року. Основні драйвери цього зростання містять впровадження промислової автоматизації, технологій IoT, штучного інтелекту та роботизації. Очікується, що Азіатсько-Тихоокеанського регіон буде демонструвати найшвидше зростання саме завдяки потужній промисловості в Китаю, Японії та Індії, а також суттєвим державним інвестиціям у технології Індустрії 4.0.

2. Виклики для України

Зазначена проблематика полягає в такому: першою чергою, недостатньо вивчений досвід країни з впровадження і реалізації промислової політики та цифрової трансформації, також проблемою є відносно повільне впровадження цифровізації промисловості порівняно з іншими країнами [1].

Українська приладобудівна галузь стикається з низкою проблем, які гальмують її трансформацію:

- Застаріла інфраструктура: більшість підприємств не готові до впровадження сучасних рішень через техніко-технологічне відставання.
- Дефіцит кадрів: недостача фахівців у галузі IT, автоматизації та робототехніки.
- Низький рівень інвестицій: через економічну нестабільність впровадження інновацій фінансується недостатньо.
- Обмежений доступ до глобальних ринків: через політичні та економічні фактори.

Водночас, наявність потужного IT-сектору та наукових установ надає Україні можливість наздоганяти лідерів галузі.

Ситуація в Україні. Хоча статистика ринку Індустрії 4.0 для України менш доступна, країна має суттєвий потенціал для інтеграції цих технологій у виробничі процеси приладобудування. Наприклад, український IT-сектор вже активно взаємодіє у проектах IoT та штучного інтелекту. Для більшої залученості до глобальних процесів Україна потребує модернізації виробничих потужностей, розвитку людського капіталу та залучення інвестицій.

3. Роль міжнародного науково-технічного співробітництва у приладобудівній сфері.

Як зазначено в статті «Тенденції розвитку міжнародного науково-технічного співробітництва» - «Міжнародне науково-технічне співробітництво – це сфера міжнародних економічних відносин, що пов'язано зі спільною діяльністю з одержання, поширення і використання нових знань, обміном науковими результатами та виробничим досвідом для вирішення економічних, соціальних, технологічних і виробничих проблем». Це обумовлено тим, що наука є сферою суспільного інтересу, зокрема кооперація, яка є частиною сучасної системи міжнародного поділу праці. Співробітництво у цій сфері розглядається як об'єктивна необхідність і містить обмін знаннями, несе у собі низку переваг

(об'єднання ресурсного забезпечення, максимізація прибутку; синергія взаємодії наукових шкіл; отримання доступу до передових знань тощо). Міжнародне співробітництво стало самостійним чинником і шляхом забезпечення розвитку на основі глобального поширення досягнень науки та техніки, а також стало стійким явищем у відносинах між країнами та елементом кооперації та спеціалізації, поширення та використання знань. [2]

Для успішної інтеграції Індустрії 4.0 ключовим є розвиток міжнародної співпраці. Основні напрями включають:

- **Брати активну участь у глобальних проєктах:** як приклад, це може бути програма Horizon Europe та інші міжнародні проєкти потужних організацій, які підтримують інноваційні розробки у виробничій сфері.
- **Здійснення трансферу технологій:** партнерство та консорціуми з міжнародними компаніями та інституціями сприяє впровадженню передових рішень у приладобудуванні.
- **Спільна підготовка кадрів:** навчальні програми з європейськими університетами сприяють підвищенню кваліфікації українських інженерів, науковців, дослідників, стартаперів і студентської молоді.
- **Інтеграція стартапів у світові екосистеми:** це надає змогу нашим компаніям впроваджувати інновації та адаптуватися до міжнародних стандартів. Участь у глобальних технологічних платформах та інкубаторах сприяє обміну досвідом, залученню іноземних інвестицій та прискоренню розвитку перспективних ідей. Завдяки співпраці з міжнародними партнерами українські стартапи отримують доступ до сучасних технологій, експертної підтримки та можливостей виходу на нові ринки, що значно підвищує їхню конкурентоспроможність.

Ця співпраця є основою для подолання технічних і фінансових бар'єрів у виході на міжнародні ринки приладів.

4. Перспективи розвитку сфери приладобудування.

Для трансформації приладобудівної сфери України в умовах Індустрії 4.0 доцільно таке:

- **Створення інноваційних кластерів:** спільні майданчики для обміну досвідом між підприємствами, університетами та державними установами, що працюють у приладобудівній сфері.
- **Розробка стимулюючих програм:** податкові пільги для компаній, які впроваджують новітні технології.
- **Сприяння цифровізації:** розробка загальнодержавної платформи для інтеграції цифрових рішень у виробничі процеси, у тому числі й у приладобудуванні.
- **Підтримка стартапи:** гранти та інвестиції для інноваційних команд з приладобудування.

Як зазначено у роботі [4] «всі провідні країни світу досягли високого рівня економіки за рахунок розвитку наукоємних інноваційних технологій та виробництв і ощадливої енергетики. Україна не є винятком і буде змушена опанувати цей шлях, оскільки розвиток лише сировинних галузей не дозволить

піднятися на вищі щаблі економічного розвитку».

ВИСНОВКИ

Індустрія 4.0 відкриває широкі можливості для трансформації приладобудівної галузі України. Її інтеграція сприятиме розробці інноваційних і конкурентоспроможних рішень, зміцненню позицій України на міжнародних ринках і розкриттю їхнього технологічного потенціалу. Водночас успішне подолання існуючих викликів і забезпечення стабільного розвитку можливе лише за умови активного міжнародного науково-технічного співробітництва, яке стане основним ключем до впровадження передових технологій та розширення перспектив приладобудівної галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Elvira Dzhafarova, Maryna Karpenko - Kyiv National University of Trade and Economics, "Features And Problems Of Implementing Industry 4.0 In Ukraine" <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/764>
- [2] Polyakov M. V., Bilozubenko V. S., Shablii S. Ye. Trends in the development of international scientific and technical cooperation. Business Inform. 2020. No. 12. P.54
https://www.business-inform.net/article/?year=2020&abstract=2020_12_0_53_60
- [3] Sygyda L.O., "Industry 4.0 and its impact on the countries of the world1" World Economy and International Economic Relations. P.58
https://economyandsociety.in.ua/journals/17_ukr/9.pdf
- [4] Ukrainian Chamber of Commerce and Industry 1991-2024
<https://ucci.org.ua/press-center/ucci-news/fakhivtsi-obgovorili-problimatiku-rozvitku-ienergietichnogo-priladobuduvannia-v-ukrayini>

Наук. керівник – д.е.н., проф, Войтко С.В.