МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

XVII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених

"ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ"

14-15 травня 2024 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції

КИЇВ 2024

УДК 621:537

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 65 статей за результатами наукових та практичних досліджень з актуальних проблем автоматизації та приладобудування. Розраховано на аспірантів та студентів старших курсів з фаху «Автоматизація та приладобудування» і «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

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, проткол №5/24 від 27.05.2024р.

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

Збірник праць XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Погляд у майбутнє приладобудування”, 14-15 травня 2024р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2024. – 261 с.

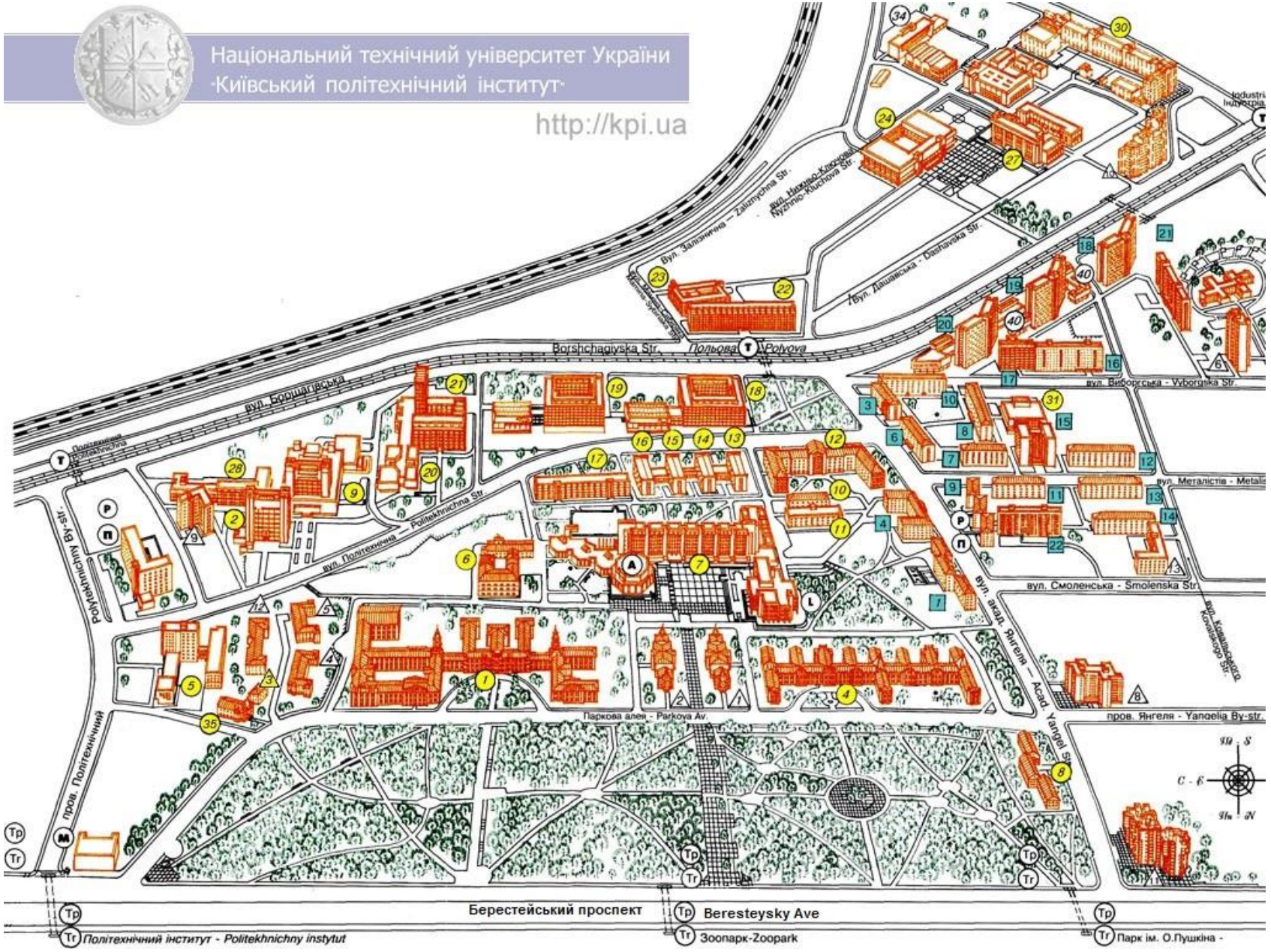
Видано на замовлення Приладобудівного факультету Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:

1. Тимчик Григорій Семенович — д.т.н., проф., декан ПБФ
2. Бурау Надія Іванівна — д.т.н., проф., зав. кафедри КІОНС
3. Колобродов Валентин Георгійович — д.т.н., проф. кафедри КІОНС
4. Безуглий Михайло Олександрович — д.т.н., проф., зав. кафедри КІТВП
5. Антонюк Віктор Степанович — д.т.н., проф. кафедри КІТВП
6. Киричук Юрій Володимирович — д.т.н., проф., зав. кафедри АСНК
7. Протасов Анатолій Георгійович — д.п.н., проф. кафедри АСНК
8. Єременко Володимир Станіславович — д.т.н., проф., зав. кафедри ІВТ
9. Защепкіна Наталія Миколаївна — д.т.н., проф. кафедри ІВТ
10. 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. Тоцька В. О. — студентка ПБФ, секція №2.
4. Дубінін Я.Я. — студент ПБФ, секція №3.
5. Косінська А. А. — студентка ПБФ, секція №4.
6. Васюк П. Р. — студентка ПБФ, секція №5.
7. Довбиш І.О. — студентка ПБФ, секція №6.


Національний технічний університет України
-Київський політехнічний інститут-
http://kpi.ua
Borshchagiyska Str.
Польова
Polyova
вул. Борщагівська
вул. Залізнична — Zaliznychna Str.
вул. Нижньо-Ключова
Nyzhnio-Kluchova Str.
вул. Дашавська - Dashavska Str.
вул. Виборгська - Vyborgska Str.
вул. Металістів - Metalis
вул. Смоленська - Smolenska Str.
вул. Ковальського
Kovalskogo Str.
вул. Політехнічна - Politekhnichna Str.
Politekhnichny By-str.
пров. Політехнічний
Паркова алея - Parkova Av.
вул. акад. Янгеля — Acad. Yangel Str.
пров. Янгеля - Yangelia By-str.
Берестейський проспект
Beresteysky Ave
Політехнічний інститут - Politekhnichny instytut
Зоопарк-Zoopark
Парк ім. О.Пушкіна -

З М І С Т

Секція 1. Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і керування

О.О. Гордієнко, студент гр. ПГ-зп11, к.т.н., доц. Заморський О.В.
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ДАТЧИКА 12

Н.А. Косенко, студент гр. ПГ-01, к.т.н., доц. Мироненко П.С.
РЕЗЕРВОВАНИЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ МІНІ-ПРИВІД 17

Б.С. Левков, студент гр. ПГ-01, , к.т.н., ст. викладач Сапегін О.М.
РОЗРОБКА ТРИВІСНОГО СТЕНДУ ІМІТАЦІЇ РУХУ 20

М. Ю. Мульганов, студент гр. ПГ-01
КОРІОЛІСОВИЙ ВІБРАЦІЙНИЙ ГІРОСКОП СТІЙКИЙ ДО МЕХАНІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ 23

А.В. Осовцев, аспірант гр. ПГ-21ф
ПРОБЛЕМАТИКА ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА 27

Г.Ю. Строкач, аспірант гр. ПГ-21ф, к.т.н. Головач С.В.
ВПЛИВ МЕТОДІВ АВТОНАЛАШТУВАННЯ ПІД РЕГУЛЯТОРІВ НА ВИХІДНИЙ СИГНАЛ ТВЕРДОТІЛЬНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПА 31

Н.С. Тараненко, студент гр. ПГ-01, к.т.н. Рупіч С.С.
СУЧАСНІ МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ ШЛЯХУ ДЛЯ АВТОНОМНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ 37

Р.І. Тепленко, студент гр. ПГ-01, к.т.н., доц. Півторак Д.О.
АВТОМАТИЗОВАНИЙ БЛОК ЗАХИСТУ ПОМЕШКАННЯ З GSM- МОДУЛЕМ 41

О.О. Харковський, студент гр. ПГ-01, к.т.н., ст. викл. Сапегін О.М.
САМОБАЛАНСУЮЧИЙ КУБ 45

О.В. Чуніцький, студент гр. ПГ-п11, асист. Паздрій О.Я.
СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ 49

Секція 2. Оптичні та оптико-електронні прилади і системи

Б. М. Борсук, студент гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Боровицький В.М.
ПЕРЕВАГИ АРХІТЕКТУРИ GPU NVIDIA ADA LOVELACE 54

Н.В. Бірюк, студент гр. ПО-11, к.т.н., ст. викл. Васильковська І.О.
ЗАДАЧА ДОЙЧА ЯК ОСНОВА КВАНТОВИХ ОБЧИСЛЕНЬ 57

А.О. Гавриленко, студентка гр. ПО-31мп, к.т.н., ст. викл. Мамута М.С.
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУПРОВОДУ ОБ'ЄКТІВ ВБУДОВАНИМИ ЗАСОБАМИ OPENCV 61

В.О.Голик, студентка гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Колобродов В.Г.
ЕФЕКТИВНІСТЬ САМОКАЛІБРУВАННЯ В ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ БПЛА

..... 64

М. І. Залізняк, студент гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Боровицький В.М.
КЛАСИФІКАЦІЯ ІНТЕРФЕЙСІВ РІДИННО-КРИСТАЛІЧНИХ ДИСПЛЕЇВ 68

Д.М. Лавренюк, студентка гр. ПО-31мп, к.т.н., доц. Сокуренко В.М.
АБЕРАЦІЙНИЙ СИНТЕЗ СВІТЛОСИЛЬНОГО ШЕСТИЛІНЗОВОГО SWIR-ОБ'ЄКТИВА З ФІКСОВАНИМИ ПАРАМЕТРАМИ 71

Ю. М. Слінченко, студент гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Чиж І.Г
ПАНОРАМНИЙ ПЕРИСКОП-ТЕПЛОВІЗОР 75

Д.Д. Шинкарьов, студент гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Микитенко В.І.
ПОШУК ПЕРСПЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ МІН 79

А.О. Яценко, студент гр. ПО-31мп, к.т.н., доц. Сокуренко В.М.
ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ІНФРАЧЕРВОНОГО ОБ'ЄКТИВА З ВЕЛИКИМ ВІДНОСНИМ ОТВОРОМ 83

СЕКЦІЯ 3. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

Oleh Bukovskyi, postgr. student gr. PB-z31f, PhD, Assoc. Professor Serhiy Vysloukh
MODELING OF THE MAIN FACTORS AFFECTING THE ELECTRICAL PARAMETERS OF INSULATION OF INTERBLOCK ELECTRICAL CONNECTIONS . 88

Oleksandr Matoshyn, student gr. PB-21mn, Assoc. Prof. Sergii Vysloukh
SYSTEM OF ADAPTIVE CONTROL OF THE PROCESS OF DRILLING HOLES IN CARBON FIBER REINFORCED POLYMER PARTS 93

I.E. Rudkovskyi, student of group PB-31mp, Associate professor Stelmakh N.V.
REVIEW AND ANALYSIS OF TECHNICAL AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF UAV MODIFICATIONS FOR SEARCH AND RESCUE OPERATIONS 97

V.V. Storozhenko, student of gr. PB-31mp, Ph.D., Assoc. Prof. Stelmakh N.V.
INTEGRATION OF ELECTRO NEUROSTIMULATION INTO A PORTABLE ELECTROMYOGRAPHY DEVICE FOR REHABILITATION 101

Р.О. Воронков, аспірант гр. ПБ-31ф, д.т.н, проф. Безуглий М.О.
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЯВЛЯННЯ ОБ'ЄКТІВ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ ЗА ДОПОМОГИ АРХІТЕКТУРИ YOLO 104

С.В. Грибан, студент гр. ПБ-31мн, асис. Заєць С.С.
СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ УГІДЬ 109

Я. Б. Жук, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Клочко Т. Р.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАРВНИКА НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМОПЛАСТИКУ PLA В ТЕХНОЛОГІЇ FDM 3D-ДРУКУ 113

Ю.В. Лобур, аспірант гр. ПБ-31ф, к.т.н, доц. Вонсевич К.П.
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ МАНІПУЛЯЦІЇ БІОНІЧНОГО ПРОТЕЗУ РУКИ 117

Д.М. Покрова, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
GPSS – ЯК ЗАСІБ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНОГО ВИРОБНИЦТВА 121

С.О. Полуектов, аспірант гр. ПБ-31ф, к.т.н., доц. Безугла Н.В.
ПРОГРАМНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРМИ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИХ РЕФЛЕКТОРІВ 124

К.А. Романенко, аспірант гр. ПБ-31ф, д.т.н., проф. Безуглий М.О.
РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ПОЛЯРИМЕТРА 127

А.І. Турик, студент гр. ПБ-31мп, к.т.н., доц. Вонсевич К.П.
БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ФОРС-МІОГРАФІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ . 131

Н.І. Шелудько, студент гр. ПБ-01, к.т.н, доц. Барандич К.С.
МОДУЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО 3D ПРОЄКТУВАННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КРОНШТЕЙН» ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ 135

СЕКЦІЯ 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ, РОБОТОТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ INDUSTRY 4.0

А.А. Ванда, студент гр. ПМ-01, к.т.н., доц. Писарець А.В.
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ 140

Д. А. Гальченко, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н., доц. Цибульник С. О.
ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ АНАЛІЗУ ПЛОСКИХ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ 143

Б. А. Гук, студент гр. ПК-31, доц. Галаган Р. М.
ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОЗУМНИХ БУДИНКАХ 148

Н.В. Демерза, студент гр. ПМ-31мп, к.т.н., доц. Писарець А.В.
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПАКУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ 151

С.А. Дмитренко, студент гр. ПБ-31мн, к.т.н., доц. Барандич К.С.
ВИКОРИСТАННЯ REINFORCEMENT LEARNING ДЛЯ ЗАВДАНЬ СКЛАДАННЯ . 155

А. Р. Дроздова, студентка гр. ПМ-31, доц. Галаган Р. М.
ВИДИ БІОНІЧНИХ ПРОТЕЗІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ 158

А. А. Косінська, студентка гр. ПМ-01, д.т.н., доц. Киричук Ю. В.
АВТОМАТИЗОВАНЕ ВІДСТЕЖЕННЯ УМОВ В ПІДЗЕМНОМУ ПРИМІЩЕННІ.... 162

О.О. Логвиненко, студент гр. ПМ-01, к.т.н., доц. Писарець А. В.
ДО ПИТАННЯ ВИБОРУ ВІТРОГЕНЕРАТОРА 165

Є. В. Малахов, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н. Рупіч С. С.
ІНЖЕНЕРІЯ НА ОСНОВІ ЗНАНЬ В КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ІНДУСТРІЇ 4.0..... 168

Д.С. Малащенко, студ. гр. ПМ-31мп, д.т.н., проф. Киричук Ю.В.
РОЗУМНИЙ КОТЕДЖ: АВТОМАТИЗАЦІЯ ВСІХ АСПЕКТІВ 172

О.Є. Маримович, студент гр. ПК-01, доц. Галаган Р.М.
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ГОЛОСОВОГО УПРАВЛІННЯ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ 176

А.А. Сакута, студентка гр. ПК-01, доц. Галаган Р. М.
РОЗРОБКА МОДУЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕМОЦІЙ ТА ОЗВУЧУВАННЯ ТЕКСТУ ДЛЯ СЕРВІСНОГО РОБОТА 180

СЕКЦІЯ 5. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Л.В. Брацлавська, студентка гр. ПІ-31мп
ДОСЛІДЖЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ПОМИЛКОВИХ РІШЕНЬ ПРИ ПРОЦЕДУРІ КОНТРОЛЮ 186

П.Р. Васюк, І.С. Богдан, П.В. Гавриленко студенти гр. ПІ-12
АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ДИНАМІКИ УТВОРЕННЯ ХЛОРОФІЛУ В ЛИСТЯХ ДЕРЕВ 190

Д.І. Власюк, студент гр. ПК-01
МОБІЛЬНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ТОВЩИНОМІР 194

В.Д. Дащенко, П.С. Волковий, аспіранти гр. ПІ-21ф
БЕЗКОНТАКТНЕ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ДЕФЕКТУ В ТОВЩИНІ ДВОШАРОВОГО МАТЕРІАЛУ 197

Д.Є. Куліков, студент гр. ПІ-31мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.
ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ТЕХНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ 200

А.О. Малохатько, студентка гр. ПН-01, к.т.н., доц. Самарцев Ю. М.
МОБІЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ 203

Ю.В. Носова, студентка гр. ПІ-32мп, , к.т.н., доц. Божко К.М.
ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ В КОРОННОМУ РОЗРЯДІ 207

А.І. Ніколаєв, студент гр. ПІ-32мп, В.Г. Желізняк, студентка гр. ПІ-з31мп,
ЄМНІСНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ МАТЕРІАЛУ 211

Р.С. Теличко, студент гр. ПІ-32мп, к.т.н. Щербань А.П.
АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТРЕКІНГОВИХ СИСТЕМ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ 214

М.В. Шульга, студент гр. ПІ-31мп, к.т.н., ст. викл. Морозова М.М.
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СИСТЕМИ РЕАБІЛІТАЦІЇ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ .. 218

СЕКЦІЯ 6. НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ТЕХНІЧНА ТА МЕДИЧНА ДІАГНОСТИКА

Р.Д. Брайловський, студент гр. ПК-01
СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПАРКУВАННЯ 222

А.В. Венчковська, студентка гр. ПК-01, доц. Лисенко Ю.Ю.
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ СТАНУ ШКІРИ ОБЛИЧЧЯ 225

І.О. Довбиш, студентка гр. ПК-11, к.т.н. Муравйов О.В.
ВИЗНАЧЕННЯ НАЯВНОСТІ ПОШКОДЖЕНЬ ПРОПЕЛЕРІВ МУЛЬТИКОПТЕРІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ 228

Є.П. Жиров, студент гр. ПК-01, д.п.н., проф. Протасов А.Г.
ТЕПЛОВІЗІЙНА СИСТЕМА 232

О. І. Свищ, студентка гр. ПК-01
М'ЯКІ ЗАХВАТИ В РОБОТОТЕХНІЦІ 236

М.Ю. Сорока студент гр. ПК-01
ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ТОВЩИНОМЕТРІЇ 240

Я.В. Стрельчук, студент гр. ПК-01
ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ СТРЕСУ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ ДАНИХ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЇ 243

Н.А. Тимець, студент гр. ПК-01, проф. Протасов А.Г.
ПРИЛАД ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ 247

Г.Р. Тиненік, студент гр. ПК-01, доц. Лисенко Ю.Ю.
ПРИСТРІЙ ВИЯВЛЕННЯ ЗЕМЛЕТРУСУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ 251

О. Л. Чернишов, студент гр. ПК-01
ВИХРОСТРУМОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НА БАЗІ GMR 255

V.S. Yakotiuk, student of gr. PK-01, Doctor of Philosophy Momot A.S.
UAV-BASED MAGNETOMETRIC MODULE FOR DETECTING EXPLOSIVE OBJECTS 258

Секція 1.
Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і керування

УДК 681.518.22

О.О. Гордієнко, студент гр. ПГ-зп11, к.т.н., доц. Заморський О.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ДАТЧИКА

Анотація. В даній статті приведені результати розробки лабораторного пристрою для дослідження та налаштування п'єзоелектричного датчика вібрації та/або удару, для інших застосувань, на основі плівкового п'єзоелемента. Лабораторний пристрій містить доступний на ринку за привабливою ціною п'єзоелектричний елемента серії DT компанії TE Connectivity корпорації Measurement Specialties (США), схему формування сигналу датчика та цифрові пристрої для зручної обробки вихідної інформації з датчика. Показана методика розрахунку параметрів схеми для певного технічного завдання. Проведено моделювання програмою симуляції аналогових схем і цифрової логіки, описаною мовою SPICE з використанням застосунка Micro-Cap 12. По результатам моделювання аналогової частини схеми підтверджена її працездатність. Вказані деякі особливості практичної реалізації п'єзоелектричного датчика.

Ключові слова: лабораторні пристрої, п'єзоелектричні елементи, схеми формування сигналу, датчики вібрації, датчики удару.

ВСТУП

П'єзоелектричні елементи, як перетворюючі пристрої, використовуються для великої кількості практичних застосувань. Зокрема, плівковий п'єзоелемент (piezo film element) застосовується в датчиках вібрації і удару, для вимірювання згинання та дотику, або як гнучкий перемикач чи аудіо перетворювач. Такі п'єзоелектричні елементи, виготовляються з використанням гнучкої полімерної плівки – полівініліденфториду (ПВДФ – PVDF, polyvinylidene fluoride), мають широкий динамічний діапазон при досить привабливій ціновій пропозиції. Їх конструктивне виконання (рис. 1) дозволяє самостійно реалізувати різноманітні датчикові пристрої в лабораторних умовах.

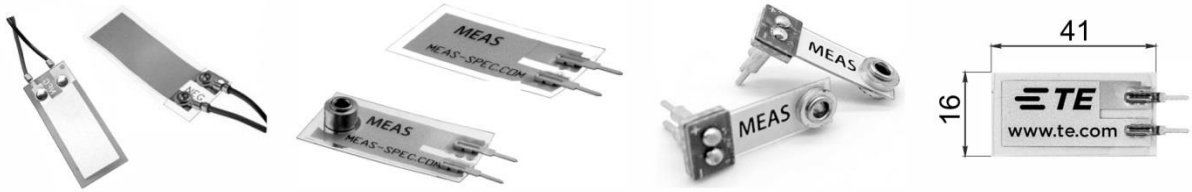


Рисунок 1. Плівкові п'єзоелектричні елементи: а) з монтажними провідниками, без інерційної маси; б) з гофрованими контактами, без та з інерційною масою; в) зі штирковими контактами та з інерційною масою; в) DT0-028K (TE Connectivity, США) [1]

Загальна функціональна схема лабораторного пристрою для дослідження та налаштування п'єзоелектричного датчика представлена на рис. 2.

Рисунок 2. Загальна функціональна схема лабораторного пристрою, де 1 – п'єзоелектричний елемент (ПЕ), 2 – атенюатор або дільник напруги (ДН), 3 – фільтр високих частот (ФВЧ),
4 – операційний підсилювач (ОП), 5 – фільтр низьких частот (ФНЧ), 6 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП), 7 – послідовний інтерфейс (ПІ), 8 – мікроконтролер (МК)

Для розробки вибрано плівковий п'єзоелектричний елемент DT0-028K

компанії TE Connectivity корпорації Measurement Specialties (США) (рис. 1, г), типові параметри якого в нормальних умовах: ємність C_g = 1,38 нФ (рис. 3, а); базова чутливість S_g = 50 мВ/g; чутливість при резонансі $S_{g\,max}$ = 1,4 В/g; резонансна частота $f_{рез}$ = 180 Гц (рис. 3, б) [1], [2].

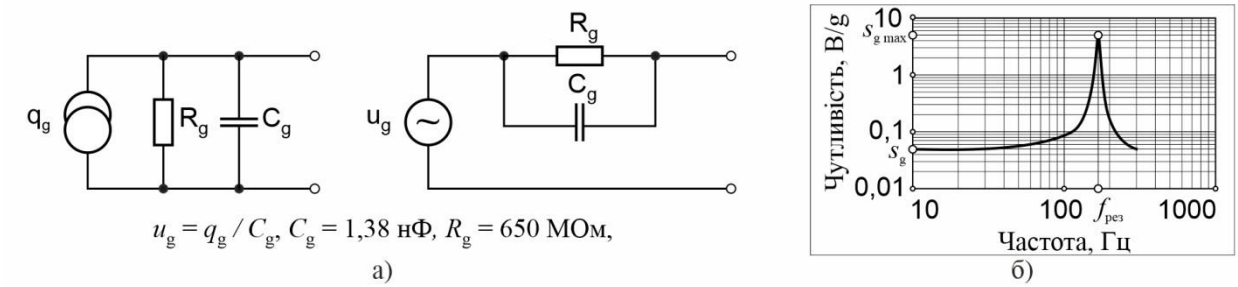


Рисунок 3. Плівковий п’єзоелектричний елемент DT1-028K, де а) еквівалентні схеми з джерелом заряду q_g та з джерелом напруги u_g відповідно, б) базова і резонансна чутливості

РОЗРОБКА СХЕМИ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛУ

Враховуючи високий вихідний імпеданс п’єзоелемента (ПЕ), для розробки схеми формування сигналу (рис. 4) обирається операційний підсилювач (ОП) з високим вхідним імпедансом – ОП TLV2772 (Texas Instruments, США) [3], [4]. В якості мікроконтролера (МК) вибирається МК Arduino Uno (Arduino Software, Італія). Вхід МК пов’язаний з аналоговим виходом схеми через 12-розрядний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) з послідовним інтерфейсом (ПІ) I^2C, реалізованих мікросхемою MCP3221A5T (Microchip Technology, США) [5]. Напруга живлення $U_ж$ для КМОП елементів схеми 3,3 В або 5 В постійного струму, опорна напруга $U_{оп}$ для ОП складає $U_{оп} = 0{,}5 \cdot U_ж$.

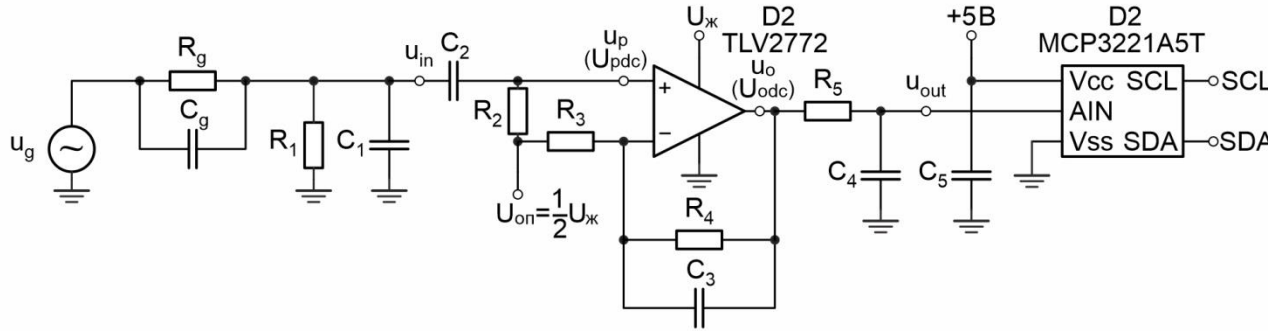


Рисунок 4. Схема п’єзоелектричного датчика з цифровим виходом

Під механічним впливом ПЕ формує вихідну напругу u_g від кількох мВ до десятків В, зниження якої до u_{in} здійснює компенсаційний атенюатор [6] – дільник напруги (ДН), утворений елементами R_g, C_g, R_1, C_1. Для низьких частот

$$\frac{u_{in}}{u_g} = \frac{R_1}{R_g + R_1} = k \text{ при умові } R_1 C_1 = R_g C_g . \qquad ((1)$$

При аналізі схеми, як кола постійного струму, враховуючи незначний опір R_2 порівняно з вхідним опором ОП, та при розімкнутих конденсаторах, опорна напруга з’явиться на позитивному вході ОП: $U_{pdc} = U_{оп}$. При припущені, що вхід АЦП не створює навантаження на схему, нехтується дільником напруги між виходом ОП і входом АЦП [4]. Тоді підсилення відносно входів (–) і (+) ОП

$$k_{(-)} = \frac{U_{odc}}{U_{pdc}} = -\frac{R_4}{R_3}, \qquad k_{(+)} = \frac{U_{odc}}{U_{pdc}} = 1 + \frac{R_4}{R_3} \tag{(2)}$$

після накладання вказують на присутність на виході ОП постійної напруги $U_{оп}$:

$$k_{(-)} + k_{(+)} = 1 \Rightarrow U_{odc} = U_{pdc} = U_{оп}. \tag{(3)}$$

Отже, при відсутності сигналу з ПЕ на виході ОП і на вході АЦП буде присутня постійна напруга $U_{оп}$. Негативному сигналу з ПЕ на виході ОП і на вході АЦП буде відповідати напруга від 0 до $U_{оп}$, позитивному – від $U_{оп}$ до $U_{ж}$.

Для схеми, як кола змінного струму, передатна функція $H(s)$ з оператором Лапласа s визначається через передатні функції ДН (1), фільтра високих частот (ФВЧ), ОП та фільтра низьких частот (ФНЧ) як

$$H(s) = H_{ДН} \cdot H_{ФВЧ}(s) \cdot H_{ОП}(s) \cdot H_{ФНЧ}(s). \tag{(4)}$$

Пасивний ФВЧ від виходу датчика до високоімпедансного позитивного входу ОП утворюють конденсатор C_2 і резистор R_2. Передатна функція $H_{ФВЧ}(s)$ та нижня гранична частота f_H ФВЧ визначаються як

$$H_{ФВЧ}(s) = \frac{u_p}{u_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_2 + \frac{1}{sC_2}}, \qquad f_H = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}. \tag{(5)}$$

Передатна функція $H_{ОП}(s)$ ОП, як неінвертуючого підсилювача [4]:

$$H_{ОП}(s) = \frac{u_o}{u_p} = 1 + \frac{Z}{R_3};\ Z = \frac{R_4}{1 + sC_3R_4} \Rightarrow H_{ОП}(s) = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + sC_3R_4}. \tag{(6)}$$

Пасивний ФНЧ утворюють конденсатор C_4 і резистор R_5, (передбачається, що опір конденсатора C_4 і резистора R_5 значно менший вхідного опору АЦП). Передатна функція $H_{ФНЧ}(s)$ та верхня гранична частота f_B ФНЧ визначаються як

$$H_{ФНЧ}(s) = \frac{u_{out}}{u_o} = \frac{1}{1 + sC_4R_5}, \qquad f_B = \frac{1}{2\pi R_5 C_4}. \tag{(7)}$$

Підкладаючи (1) і (5)÷(7) в (4) отримується передатна функція $H(s)$ схеми:

$$H(s) = \frac{u_{out}}{u_g} = \frac{R_1}{R_g + R_1} \cdot \frac{R_2}{R_2 + \frac{1}{sC_2}} \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + sC_3R_4} \cdot \frac{1}{1 + sC_4R_5}. \tag{(8)}$$

Враховуючи складові постійного (3) і змінного (8) струму, напруга u_{out} на виході схеми формування сигналу і на вході АЦП, залежно від напруги u_g на виході ПЕ, визначається як

$$u_{out} = H(s)u_g + U_{оп}. \tag{(9)}$$

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ І МОДЕЛЮВАННЯ

Враховуючи високу чутливість, яка при резонансній частоті може сягати кілька вольт, та широкий динамічний діапазон, напруга на виході ПЕ може сягати десятки вольт. Тому для узгодження рівнів сигналу схеми (рис. 4) п'єзоелектричний датчик проектується з ДН. Резистор R_1 ДН вибирається таким чином, щоб послаблення сигналу склало – 40 дБ, k = 0,01 (1). Згідно розрахунку (1) R_1 = 6,57 МОм. Вибирається резистор з найближчим доступним номіналом 6,2 МОм, застосування якого дає послаблення сигналу – 40,5 дБ, k = 0,0095. Розрахунковий (1) номінал конденсатора C_1 = 0,145 мкФ. Конденсатор C_1 для компенсаційного атенюатора вибирається з доступним номіналом 0,15 мкФ.

Параметри елементів схеми формування сигналу розраховуються залежно від технічних вимог. Далі розглядається приклад розрахунку і налаштування схеми формування сигналу датчика вібрації і ударів для таких технічних вимог: динамічний діапазон $0 \div 25$g; роздільна здатність 0,2g; смуга пропускання (частотний діапазон) $1 \div 500$ Гц.

При заданому динамічному діапазоні зміна амплітуди сигналу з датчика складає від 0 В до $U_{\text{in max}} = S_{\text{g max}} \times \text{k} \times 25\text{g} = 1{,}4$ В/g $\times 0{,}0095 \times 25\text{g} = 0{,}3325$ В. Тоді, щоб уникнути насичення, коефіцієнт підсилення ОП при $U_{\text{оп}} = 0{,}5U_{\text{ж}} = 2{,}5$ В визначається як $U_{\text{оп}} / U_{\text{in max}} = 2{,}5$ В / 0,3325 В = 7,52. Згідно (6) резистори R_3 і R_4 номіналами $R_3 = 10$ кОм, $R_4 = 75$ кОм забезпечать підсилення 7,5 (17,5 дБ).

Нижня границя смуги пропускання, частота зрізу f_{H}, забезпечується ФВЧ, утвореним конденсатором C_2 і резистором R_2 (5). Для забезпечення низького номіналу вхідного конденсатора C_2 номінал резистора R_2 вибирається достатньо високим $R_2 = 1$ МОм. Розрахунковий номінал конденсатора $C_1 = 0{,}159$ мкФ (5). Вибирається поширений конденсатор 0,22 мкФ, що зміщує нижню границю частоти зрізу до 0,723 Гц.

ФНЧ, утворений конденсатором C_3 і резистором R_4 (6), визначає верхню границю смуги пропускання, частоту зрізу f_{B}. Така ж частота зрізу f_{B} для ФНЧ, утвореного конденсатором C_4 і резистором R_5, забезпечить подальше падіння сигналу на вищих частотах.

Номінал резистора $R_4 = 75$ кОм було визначено вище. Розрахунок вказує на номінал конденсатора $C_3 = 4{,}24$ нФ. Вибирається поширений конденсатор 4 нФ, що зміщує верхню границю частоти зрізу до 530 Гц.

Номінали резистора $R_5 = 75$ кОм і конденсатора $C_4 = 0{,}3$ мкФ, утвореного ними ФНЧ, забезпечать частоту зрізу 530 Гц (7).

Якщо роздільна здатність 12-ти розрядного АЦП складає 2,44 мВ, то роздільна здатність п’єзоелектричного датчика на резонансній частоті складе значення 2,44 мВ / (1,4 В/g $\times 0{,}0095 \times 7{,}5$) = 0,02g, а на частотах з базовою чутливістю значення 2,44 мВ / (50 мВ/g$\times 0{,}0095 \times 7{,}5$) = 0,7g.

Проведеним моделюванням аналогової частини п’єзоелектричного датчика (рис. 4) з визначеними параметрами (рис. 5) програмою симуляції аналогових схем і цифрової логіки, описаною мовою SPICE, з використанням програмного застосунка Micro-Cap 12 підтверджена працездатність розробленої схеми.

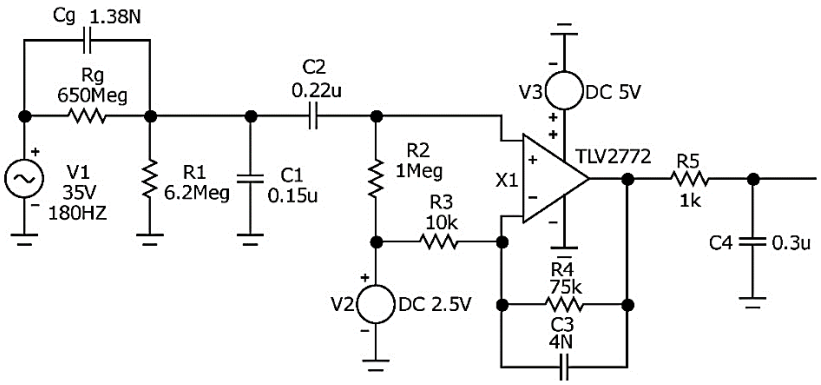


Рисунок 5. Схема аналогової частини схеми з визначеними параметрами елементів схеми п’єзоелектричного датчика, сформована у програмному застосунку Micro-Cap 12

ВИСНОВКИ

Розробка лабораторного пристрою для дослідження та налаштування п'єзоелектричного датчика вібрації і удару, для широкого динамічного та частотного діапазонів базового плівкового п'єзоелемента, надає можливість в лабораторних умовах виявити та дослідити загальні властивості генераторних перетворювачів та схем формування сигналу таких перетворювачів. Означений підхід, прийнятний і ефективний для лабораторних досліджень і вивчення, дещо обмежує практичне застосування пристрою. Вибрана широка смуга пропускання датчика, включно зі смугою низьких частот зі сталою чутливістю і лінійними характеристиками та смугою, близькою до резонансної частоти зі значно вищою чутливістю і нелінійністю, змусили ввести до схеми компенсаційний атенюатор. Введення дільника напруги призвело до значної втрати чутливості датчика і зростання його роздільної здатності у смугах частот, віддалених від резонансної. Для практичних застосувань варто ці смуги розділити.

При подальшому макетуванні пристрою варто звернути увагу не лише на аналогові схеми формування сигналу та цифрові схеми обробки інформації, а й на елементи конструкції консольного монтажу п'єзоелектричного елемента, що може надати датчику нові властивості. Можливість додавати інерційну масу на кінці консолі, і змінювати її, дозволяє понизити резонансну частоту і підвищити базову чутливість. Можливість затискання плівки на певній відстані від краю консолі, при можливості переміщення затискача вздовж консолі, дозволяє повисити резонансну частоту [2].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] DT Sensors / Specifications // Edition 07/2017. – *Hampton (USA): Measurement Specialties, Inc., a TE Connectivity Company*, 2017. – 3 p.

[2] LDT with Crimps Vibrations Sensor/Switch / Specifications LDT0-028K Piezo Vibration Rev 1 // Edition 07/2017. – *Hampton (USA): Measurement Specialties, Inc., a TE Connectivity Company*, 2017. – 5 p.

[3] TLV277X, TLV277XA of 2.5-V High Slew Rate Rail-to-Rail Output Operational Amplifier Family with Shutdown / Specifications // Edition 02/2004. – *Dallas (USA): Texas Instruments Incorporated*, 2004. – 80 p.

[4] 3-V Accelerometer Featuring TLV2772 / Application Report. – *Dallas (USA): Texas Instruments Incorporated*, 1998. – 38 p.

[5] MCP3221 Low Power 12-Bit A/D Converter With I^2C™ Interface / Specifications. – *Chandler (USA): Microchip Technology Inc.*, 2006. – 28 p.

[6] Paul Scherz, Simon Monk. Practical Electronics for Inventors. 4th edition in New York, USA: McGraw Hill LCC, 2016.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Заморський О.В.

УДК 681.53

Н.А. Косенко, студент гр. ПГ-01, к.т.н., доц. Мироненко П.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РЕЗЕРВОВАНИЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ МІНІ-ПРИВІД

Анотація. У даній роботі розглянуті засоби підвищення надійності безпілотних літальних апаратів за допомогою резервування виконуючої системи БПЛА – електромеханічного приводу. Найбільш часто у БПЛА класу «міні» використовується сервомашина. Стисло описано принцип дії. Наведено таблиці з основними характеристиками розглянутого приводу. Зроблено висновки, що окреслюють використання приводу в БПЛА типу «міні».
Ключові слова: резервування, електромеханічний привід, виконуюча система, сервопривід, міні-БПЛА.

ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Ефективність використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в багатьох випадках залежить від їх надійності. В першу чергу це стосується основної компоненти виконуючої системи – блока керування. Надійність в таких апаратах повинна бути не меншою чим надійність пілотованих літальних апаратів, у зв'язку з відсутністю на борту людини, здатної зменшити негативні наслідки відмов в системі керування. Відомо, що надійність БПЛА головним чином залежить від стану бортового комплексу керування. Тому до блока керування пред’являються найбільші вимоги по надійності. Основним компонентом виконуючої системи БПЛА є електромеханічний рульовий привод з керуванням за допомогою сервоприводу через від’ємний зворотний зв’язок. Виконуюча система багатьох БПЛА будується не тільки з резервуванням відхиляючих аеродинамічних поверхонь, але і з використанням резервованих багатоканальних приводів. Такі комплекси проектуються на принципах децентралізації з використанням сучасних підходів до керування функціональною надлишковістю. Для побудови високонадійного електромеханічного приводу використовуються конструктивні методи структурного (поелементного), часового, інформаційного і функціонального резервування. Методи резервування найбільш відповідальних каналів функціонують разом з логікою виявлення відмов, у відповідності з якою здійснюється вибір і підключення резервованих каналів.

МЕТА РОБОТИ

Дана робота присвячена розробці електромеханічного приводу для БПЛА з високою надійністю в умовах використання у невеликих за розмірами та масою літальних апаратах. Підвищення надійності приводу виконується за рахунок використання зворотного зв’язку виконаного у вигляді магнітного датчика кута.

Резервування досягнуто за допомогою дублювання керуючих поверхонь та приводів.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для більшості невеликих БПЛА в якості виконуючих механізмів, традиційно, використовуються сервоприводи. Ці механізми забезпечують найбільш раціональне використання вільного простору.

Створені сучасні сервомашини мають високі показники питомої потужності і моменту, що забезпечує розміщення таких виконуючих механізмів в

обмеженому об'ємі.

Кінематична схема приводу визначається в першу чергу характером руху об'єкта керування, який повинен забезпечити привод. У випадку управління аеродинамічними поверхнями БПЛА — це рух, що складається з обертального і поступального переміщень.

Особливістю сервоприводу є те, що за допомогою внутрішнього зворотного зв'язку, при отриманні керуючого сигналу, серводвигун встановлює положення вихідного валу на заданий сигналом кут [1]. Така схема керування задовольняє більшість потреб для мікро-, міні- та малих БПЛА. Для підвищення надійності використано розповсюджений магнітний датчик кута AS5600 (рисунок 1) з вихідним 12-бітним аналоговим сигналом або ШІМ-сигналом[2]. Також у приводі було використано серводвигун MG996R з металевим редуктором (рисунок 2). Його перевагами є низька маса – 55 г., та великий крутний момент – 9.4 кг/см (живлення – 4.8 В), 11 кг/см (6 В)[3]. Більш детальні характеристики наведені в таблицях 1 та 2.

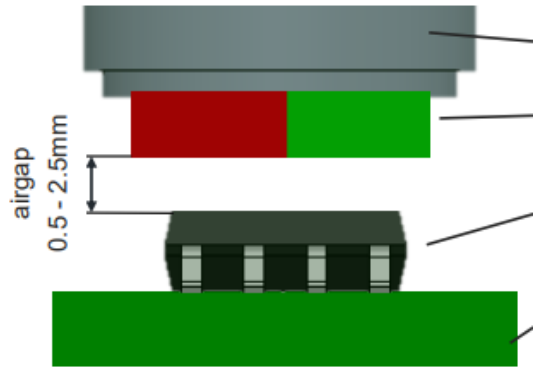


Рисунок 1. Датчик кута на ефекті Холла

Рисунок 2. Металевий редуктор сервоприводу

Таблиця 1. Характеристики датчика AS5600

Характеристика	***Значення***
Робоча відстань між магнітом і сенсором, мм	0.5 – 2.5 мм
Діапазон кутів датчика, град.	0 – 360
Вихідний сигнал	12-бітний аналоговий сигнал ШІМ-сигнал
Інтерфейси	I2C (адреса 0x36) 3-Wire
Особливості	Програмований датчик, можливість зміни діапазону кутів

Таблиця 2. Характеристики MG996R

Характеристика	***Значення***
Вага, г	55
Крутний момент, кг/см	9.4 (4.8 В), 11(6 В)
Швидкість, с/60 град	0.17 (4.8 В), 0.14 (6 В)
Напруга живлення, В	4.8 – 7.2
Робочий струм, А	0.5
Струм утримання, А	2.5 (6 В)

Магнітний датчик кута розташовано на вихідному валу сервопривода, що дозволяє вимірювати дійсний кут повороту для подальшого його коригування. Окрім того, датчик AS5600 дозволяє змінювати його робочий діапазон. Це дозволяє підвищити точність отримуваного вихідного сигналу.

Для досягнення високої надійності використовується метод дублювання сервоприводу. Це дозволяє, окрім використання серводвигунів у паралельному режимі, зменшити навантаження на окремий виконавчий механізм, а також, використовувати дублюючий сервопривід у випадку відмови основного.

ВИСНОВКИ

Основні вимоги, які пред’являються до резервованих електромеханічних приводів для БПЛА — забезпечення штатної роботи виконавчого механізму датчиками діагностування відмов. Ціль статті – розробка відмовостійкої конструкції на основі технічних рішень, які забезпечують резервування приводу з мінімальними габаритами. Термін «резервований привід» припускає наявність двох каналів: основного і резервного. Причому канали повинні бути однакової потужності.

У резервованих приводах з каналами однакової потужності кожний з каналів працює по черзі в якості основного. Також обидва канали можуть працювати одночасно з половинним навантаженням. В якості елементів перемикання каналів для БПЛА класу «міні», як правило, використовуються мікроконтролери. Ці пристрої повинні забезпечувати високу надійність конструкції, контроль стану каналів та високу швидкість перемикання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Лекція 16. Сервоприводи. Конструкція. Принцип роботи. [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/137340/mod_resource/content/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9%20%D0%9E%D0%90.pdf

[2] AS5600. Operation Manual [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://www.mouser.com/datasheet/2/588/AS5600_UG000254_2_00-1877354.pdf

[3] MG996R Metal Gear Servo Motor [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.handsontec.com/dataspecs/motor_fan/MG996R.pdf

УДК 631.451

Б.С. Левков, студент гр. ПГ-01, , к.т.н., ст. викладач Сапегін О.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ТРИВІСНОГО СТЕНДУ ІМІТАЦІЇ РУХУ

Анотація. У роботі розглядається проблема проектування рухомих платформ та стендів. Проаналізовано сучасні платформи для відтворення тривимірного руху, їх види та сфери застосування. Показано основні етапи розробки прототипу тривимірного стенду.
***Ключові слова*:** 3DOF, тривимірні стенди, платформа Стюарта, гексапод.

ВСТУП

Рухома платформа з трьома ступенями свободи (3DOF motion platform) – це пристрій, що імітує кутовий рух навколо двох осей по тангажу і крену, а також лінійне переміщення (підйом). Головною задачею такого типу платформ є відтворення руху, який зазнає об'єкт у трьох напрямках, створюючи ефект повної імітації 3Д руху. Головними напрямками використання цих платформ є тестування та калібрування обладнання, тренування водіїв, використання в морській та авіаційній галузях, для проведення дослідів. Також новим напрямком використання цих платформ став розвиток доповненої реальності (VR), де завдяки використанню цих платформ вдається відтворити реальний рух для передавання повного спектру почуттів. Ці платформи є дуже точними та динамічними, здатними задавати рух об'єктам, маса яких перевищує 1000 кг. Головною перевагою є те, що можна відтворити будь який рух на об'єкті, не потребуючи багато місця, не зважаючи на погодні умови, не витрачаючи багато часу на транспортування та фізичного перебування в певних умовах, наприклад, на борті човна для аналізу хвильового руху на об'єкті.

СУЧАСНІ ТРИВИМІРНІ СТЕНДИ

Розглянемо конструкцію типових платформ імітації руху. Перший тип тривимірних стендів – це платформа Стюарта, що представлена на рис. 1 [1]. Рух цієї платформи в трьох напрямках формують 6 актуаторів, які можуть бути гідравлічними або електричними. Дуже подібний до платформи Стюарта є гексапод. Він також використовує 6 актуаторів, але ключовою відмінністю між ними є те, що в платформі Стюарта актуатори, які прикріпленні до платформи, з'єднуються в 3 точках, тоді як у гексаподі вони розташовані у шестикутній формі. Це потенційно дає змогу збільшити стабільність та точність руху [2].

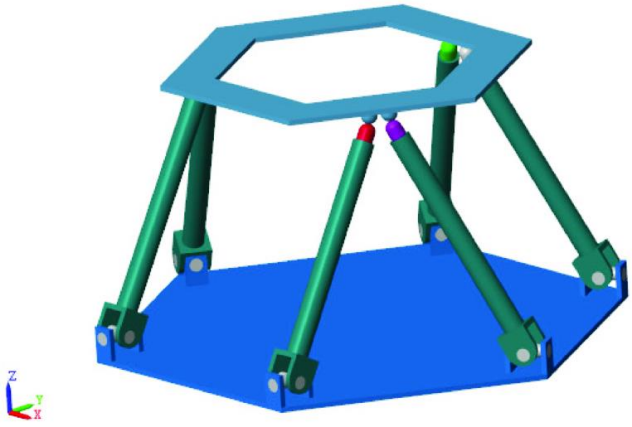


Рисунок 1. Платформа Стюарта

Інший тип конструкції – це паралельна кінематика. Основний принцип її роботи полягає у використанні паралельних механізмів, які визначають рух об’єкта (див. рис.2) [3]. Конструкція такого механізму відрізняється від попередніх, оскільки всі механізми працюють паралельно один до одному. Це досягається за допомогою з’єднувальних частин, що забезпечують високу точність та стабільність руху. В основу конструкції покладено двигуни, які з’єднуються з редукторами для збільшення крутного моменту. Стійки кріпляться до вихідного вала редуктора та до самої платформи. Для кріплення стійок до верхньої частини платформи, як і у попередньому випадку, використовуються шарніри.

Рисунок 2. 3DOF motion platform **PS-3TM-350**

Зазначимо, що розглянуті у роботі існуючі тривимірні платформи мають надзвичайно вискоку вартість (більше 10000€). Це значно обмежує сфери їх застосувань для великої групи користувачів. Це і призвело до необхідності проектування тривимірного стенду прийнятної точності з більш доступних компонентів.

РОЗРОБКА СТЕНДУ ІМІТАЦІЇ РУХУ

Метою роботи є створення стенду, який відтворює два типи руху: симуляція заданого руху (гармонійний рух) та ручний режим з керуванням за допомогою джойстика. Головним керуючим елементом обрано мікроконтролер Arduino Uno. Він містить пакет програмного забезпечення для керуванням виконавчими елементами, роботою з ручною системою задання руху та зв’язок з чутливими елементами. Для автоматичного режиму симуляції гармонічного руху використовуються серводвигуни MG996r з можливістю обертання на 360°. Для точного визначення положення платформи в найнижчому положенні застосовуються індуктивні датчики, які ідентифікують метал у цій точці, дозволяючи при цьому точно визначити крайнє положення і керувати рухом. Ручний режим керування здійснюється через джойстик з двома потенціометрами для кутового обертання навколо осей X і Z, та кнопками для переміщення платформи вгору та вниз. Для визначення крайніх положень по цих осях використовується гіроскоп інерціального вимірювального модуля (IBM)

MPU6050. Система також включає в себе програмне забезпечення для управління швидкістю роботи стенду для можливості відтворення як різких, так і максимально плавних та точних рухів. Для забезпечення безперервного моніторингу та збору даних про рух платформи та її положення в реальному часі, система може бути розширена з використанням додаткових датчиків, таких як енкодери або акселерометри. Також можна покращити інтерфейс користувача для покращеного моніторингу та керування через комп'ютер або телефон.

Основні елементи конструкції отримано із полімерного пластику на 3D принтері.

Рухома платформа кріпиться до основи на трьох стійках, рухом яких можна керувати.

ВИСНОВОК

Дослідження різноманітних типів платформ для моделювання тривісного руху та їх застосування в сучасних умовах дозволяє зробити висновок про їхню велику перспективність. Платформи, такі як платформи Стюарта, гексаподи та системи паралельної кінематики, є важливим інструментом для тестування, калібрування обладнання та навчання водіїв у різних галузях, включаючи морську та авіаційну промисловість. Крім того, вони є необхідним елементом у розвитку доповненої реальності (VR).

Розроблений стенд імітації руху, що побудовано на основі мікроконтролера Arduino Uno, демонструє високу ефективність у відтворенні як автоматичних, так і ручних рухів. Застосування серводвигунів MG996r та індуктивних датчиків дозволяє забезпечити точність у автоматичному режимі. Використання джойстика з потенціометрами та IBM MPU6050 забезпечує зручне та надійне ручне керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Model-based motion tracking control of an electric 3DoF parallel motion platform, PDF – [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/224130883_Model-based_motion_tracking_control_of_an_electric_3DoF_parallel_motion_platform

[2] Workspace analysis and optimal design of a 3-leg 6-DOF parallel platform mechanism, PDF – [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.academia.edu/12514709/Workspace_analysis_and_optimal_design_of_a_3_leg_6_DOF_parallel_platform_mechanism

[3] Development of a Virtual D.O.F. Motion Platform for Simulation and Rapid Synthesis, PDF – [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/268476012_Development_of_a_Virtual_DOF_Motion_Platform_for_Simulation_and_Rapid_Synthesis

Наук. Керівник – к.т.н., ст. викладач Сапегін О.М.

УДК 531.383

М. Ю. Мульганов, студент гр. ПГ-01
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОРІОЛІСОВИЙ ВІБРАЦІЙНИЙ ГІРОСКОП СТІЙКИЙ ДО МЕХАНІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Анотація. У сучасних коріолісових вібраційних гіроскопів існує проблема підвищеної чутливості до зовнішніх механічних збурень. Для зменшення впливу даного недоліку будемо змінювати певні фізичні параметри. Основною метою буде знаходження оптимальних параметрів товщини дна та товщини інерційної маси резонатора. Після проведення моделювань можна побачити, що зміна товщини дна тягне за собою зміну резонансної частоти. Для компенсації зміни резонансної частоти змінювалась товщина інерційної маси. Після виявлення залежності були підібрані оптимальні параметри для резонатора, резонансна частота не повинна бути більше ніж 6000 Гц та нижче 5000 Гц.

Ключеві слова: коріолісовий вібраційний гіроскоп, резонатор, резонансна частота, жорсткість.

ВСТУП

Твердотільні хвильові гіроскопи (ТХГ) можна віднести до перспективних розробок сучасної гіроскопії. Характеристики точності ТХГ сильно варіюються, оскільки вони безпосередньо пов'язані зі способом збудження поперечних пружних хвиль всередині резонатора; тому вони залежать в основному від особливостей використовуваної електроніки. ТХГ за своїми властивостями можуть конкурувати з кільцевими лазерними гіроскопами, а їх випадковий відхід за кутом, щонайменше, такий же, як у волоконно-оптичних гіроскопів [1]. Основні переваги ТХГ є вагомим аргументом при виборі якісного датчика кутової швидкості. Область застосування таких гіроскопів дуже велика і включає системи аерокосмічної навігації, управління і контролю, системи стабілізації платформ, антен, оптоелектроніки, автономні системи та апарати тощо [2].

У даній роботі розглядається підтип ТХГ з циліндричним металевим резонатором – коріолісовий вібраційний гіроскоп (КВГ).

ПОСТАНОВКА ПОБЛЕМИ

Великою проблемою для КВГ є удари вздовж осі чутливості, які можуть спричинити деформацію дна. В свою чергу це призведе до виникнення конусності дна та зміни резонансної частоти. Для стабільної роботи при випадкових ударних механічних збурень треба мінімізувати деформацію за рахунок зміни товщини дна та інерційної маси резонатора. Також треба спостерігати за резонансною частотою, щоб вона була більше за 5000 Гц та меншою за 6000 Гц

В дослідженнях [3] показано що можна зробити певну конусність дна для збільшення жорсткості, але це більш ускладнює процес виготовлення резонатора.

ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основним об’єктом досліджень буде виступати резонатор КВГ. Даний резонатор має циліндричну форму та виготовлений з металу [2]. На рис.1 зображено креслення та позначенні величини які будуть змінюватися під час досліджень. Де А - це товщина інерційної маси, В - загальна товщина стінки резонатора, а С - товщина дна.

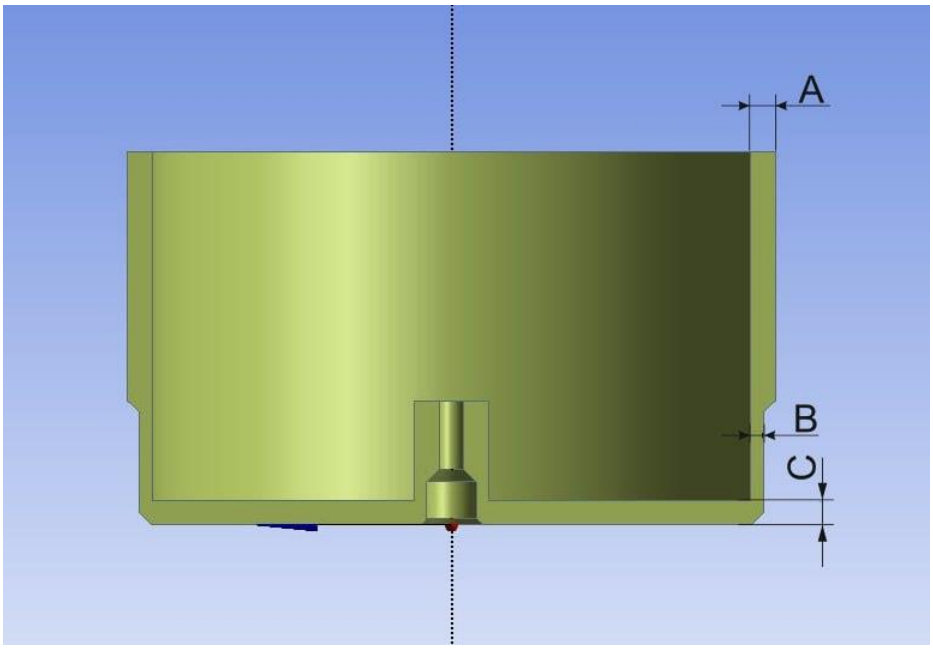


Рисунок 1. Модель резонатора та позначення параметризованих розмірів

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ

Основне моделювання проводилось в програмі Ansys 2024R1 Student®. На рис.2 зображення розбиття резонатора на скінчені елементи для подальшого моделювання.

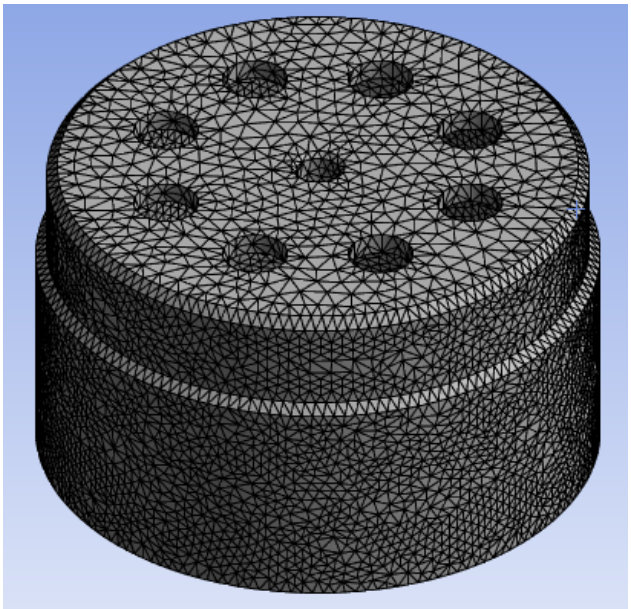


Рисунок 2. Модель резонатора розбита на скінчені елементи

Для контроля зміни резонансної частоти було проведено розрахунок за допомогою блока (Modal Analysis). Основною модою коливань резонатора є шоста мода, представлена на рис.3. З цієї моди будемо спостерігати за резонансною частотою.

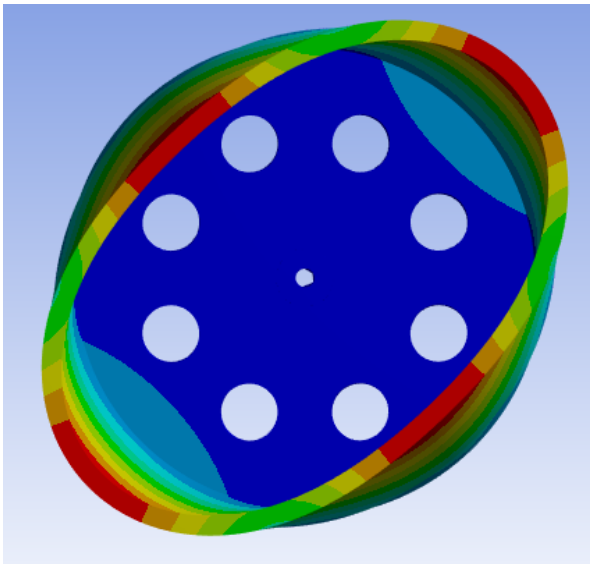


Рисунок 3. Мода для спостерігання резонансної частоти

Для оцінки величини деформації було створення статичний аналіз (Static Structural). Було додана статична сила, яка дорівнює 500 Н, прикладена паралельно до осі чутливості.

Для полегшення розрахунку використовується параметризація для товщин. Також всі графіки побудовані в програмі MatLAB®. На рис. 4-6 показано як змінюється жорсткість конструкції та резонансна частота від зміни параметрів резонатора.

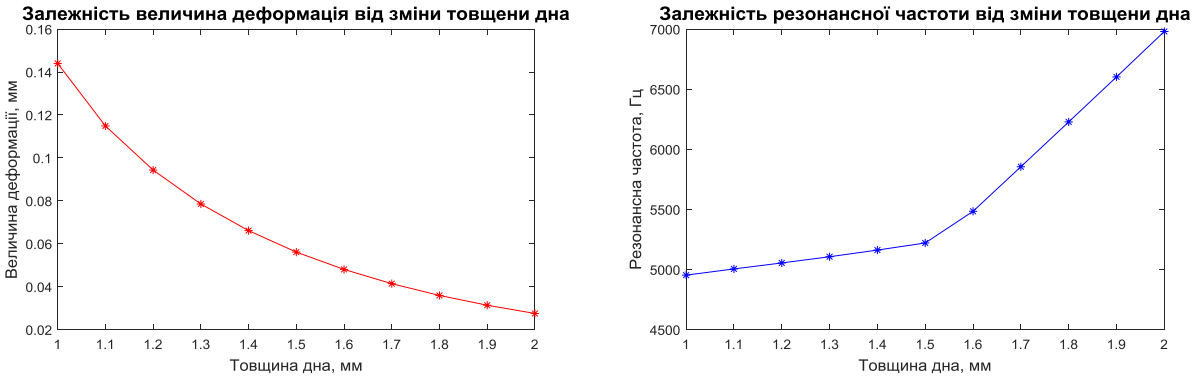


Рисунок 4. Графік залежності зміни величини деформації та резонансної частоти від товщини дна

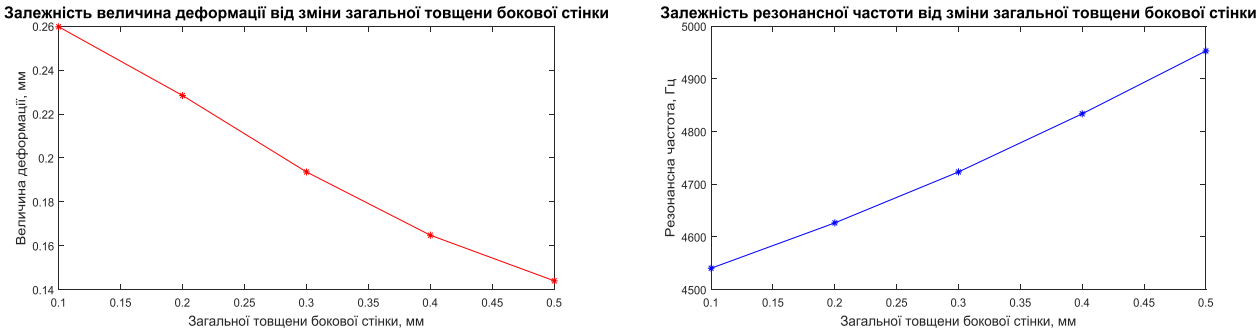


Рисунок 5. Графік залежності зміни величини деформації та резонансної частоти від загальної товщини бокової стінки

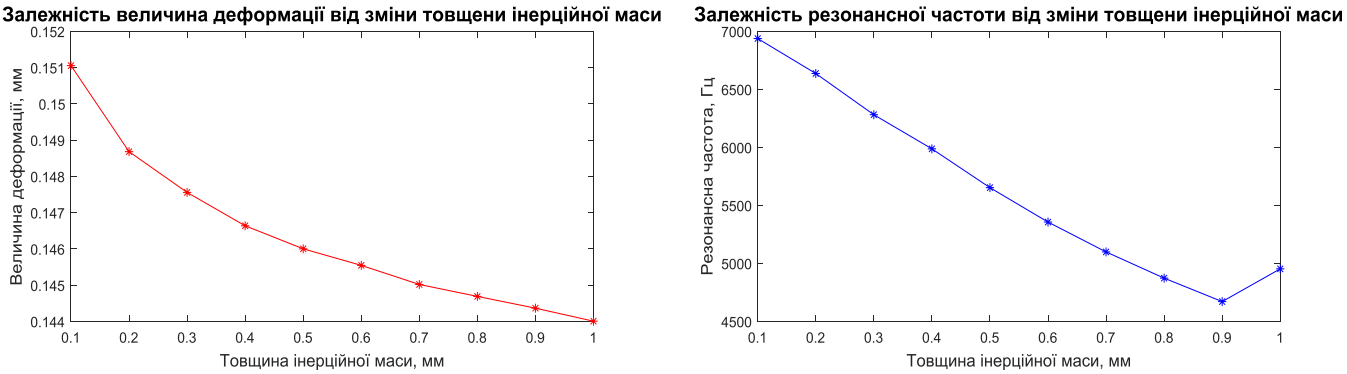


Рисунок 6. Графік залежності зміни величини деформації та резонансної частоти від товщини інерційної маси

ВИСНОВОК

Після аналізу графіків було підібрано оптимальні параметри для резонатора. Виходячи з графіків можна досягти тих параметрів, які треба для певних резонаторів. Основна мета досліджень була досягнена при таких параметрах: A = 0.8 мм, B = 0.3 мм, C =1.5 мм. При цих параметрах резонансна частота не перевищує вказані рамки і дорівнює 5493,366 Гц. При цьому величина деформації дорівнює 0,06761 мм, що приблизно в 4 рази менше від початкових значень. Резонатор, виготовлений з даними параметрами, буде більш стійким до зовнішніх механічних збурень, які направлені вздовж осі чутливості гіроскопа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Аврутов В.В. Розвиток теорії автономного визначення навігаційних параметрів рухомих та нерухомих об'єктів: дис. д.т.н. : 05.11.03 Аврутов Вадим Вікторович; НТУУ "КПІ" – 2020. – 309 с.

[2] GU100 1-Axis Coriolis Vibratory Gyroscopes (CVG) [Электронный ресурс]. – Режим доступу: http://www.innalabs.com/Products/GU100-1-Axis-Coriolis-Vibratory-Gyroscopes--CVG--.htm

[3] Костенко Н.С. Влияние конусности основания резонатора кориолисового вибрационного гироскопа на жесткость конструкции / Н.С. Костенко, П.М. Бондарь, Г.Е. Янкелевич // Вісник НТУУ "КПІ". Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2013. – Вип. 45 – С. 31-35.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Аврутов В.В.

УДК 621.317

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

ПРОБЛЕМАТИКА ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Анотація. В роботі розглянуто проблематику вибору елементної бази для створення системи стабілізації і наведення. Розглянуто основні фактори, які впливають на вимоги до таких систем, серед них: обладнання, яке потребує стабілізації; об'єкт, на який встановлюється дана система; умови руху, а також завдання, яке потребує вирішення із заданими показниками. В якості об'єкту, на якому використовується система, розглядається мобільний робот класу «міні» з габаритними розмірами до 0,5м по всім вимірам. В якості об'єкту стабілізації передбачається використання камер, далекомірів, радарів, тощо. Визначено основні напрямки вдосконалення елементної бази, такі як використання мікропроцесорної техніки та мікроелектроніки, вибір двигунів постійного струму, які є достатніми для стабілізації необхідного обладнання.

Ключові слова: мобільний робот, мобільна роботизована платформа, система стабілізації та наведення, мікроелектромеханіка, датчики, двигун постійного струму.

ВСТУП

Створення та розробка систем стабілізації - це актуальний напрямок у сфері інжинірингу та науки, який має потенціал до постійного покращення характеристик та конструктиву завдяки великій кількості прикладних завдань, які можуть вирішувати такі системи. Вони знайшли своє застосування у багатьох сферах як цивільного так і військового спрямування. Це може бути як стабілізація камери у кінематографі, так і стабілізація обладнання різного класу, такого як радари, ультразвукові далекоміри, лазерні датчики, камери, антени, необхідного для виконання пошуково-рятувальних завдань, місій по розмінуванню, розвідки, стабілізації при наведенні, та ще багато іншого.

В залежності від завдання, яке ставиться перед системою стабілізації, висуваються і вимоги до неї. Вимоги обумовлюються необхідними показниками точності та швидкодії, корисним навантаженням, яке потребує стабілізації, а також габаритними показниками, які залежать від об'єкту, на якому буде використовуватись система .

На сьогоднішній день дуже популярними об'єктами, на яких встановлюються системи стабілізації, є мобільні роботи, або безпілотні рухомі об'єкти (unmanned vehicle - UGV) [1]. Вони поділяються на декілька класів:

- Стаціонарні;
- Водні і підводні;
- Повітряні;
- Наземні(колісні, гусеничні, крокові).

В даній роботі в якості об'єкту, на якому встановлюється система стабілізації та наведення, буде розглядатися мобільний робот класу «міні» з габаритними розмірами до 0,5 метрів по всім трьом вимірам, колісного типу.

Такий об'єкт використання має жорсткі вимоги до масо-габаритних показників, тому що дуже важливим для нього є максимальне корисне навантаження, яке він повинен нести на собі, або доставити. При цьому потрібно прийняти до уваги, що об'єкт стабілізації безпосередньо має теж вагу, тому система стабілізація повинна відповідати багатьом критеріям.

Другим, не менш важливим критерієм є точність відпрацювання системи

стабілізації, тому що в умовах обмеження масо-габаритних характеристик немає можливості використовувати прийнятні за показниками точності механічні гіроскопи, які крім значної маси потребують габаритних блоків-перетворювачів для перетворення аналогового сигналу в цифровий для подальшого використання у системі.

Тому вибір компонентної бази для створення системи стабілізації є дуже важливим кроком при розробці, щоб вона відповідала всім необхідним вимогам.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

У роботі [2] автор робить аналіз вибору двигуна для використання у мобільній роботизований платформі. У статті розглядається питання вибору двигуна для руху, але часто схема бортового живлення мобільного робота має одне живлення, тому двигун для системи стабілізації, встановленої на ньому, теж буде мати схожі вимоги, відрізнятись може потужністю вихідного валу.

Створення системи стабілізації та наведення для наземних рухомих об'єктів на основі використання AHRS розглянуто у статті [3]. Автори обґрунтували переваги використання даного модуля, а також запропонували алгоритм для визначення кутів стабілізації.

У роботі [4] описано розробку та використання електричного контролеру для безпілотного наземного транспортного засобу. Описується елементна база, яка обиралась та використовувалась для його створення.

Умови використання мобільного роботу з встановленою на борту системою стабілізації та наведення описується у статті [5]. Розглянуто рух по поверхням з різним профілем нерівностей (рельєфом). З даної роботи визначено основну вимогу до точності систем стабілізації, похибка за кутом стабілізації не повинна перевищувати 0,02 градусів.

ПРОБЛЕМАТИКА ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

Для створення системи стабілізації, яка буде відповідати вимогам, що висуваються до неї відповідно до умов використання чи завдання, яке необхідно виконувати, потрібно правильно обирати елементну базу. Одним з ефективних шляхів є перехід від класичної елементної бази до сучасної.

При побудові великих систем стабілізації, де немає майже обмежень по масо-габаритним показникам, можна залишатись на класичних елементах, які будуть давати прийнятні показники точності. Перехід від таких елементів до інших, більш сучасних, може бути зумовлений лише застарілістю компонентів та важкістю їх підтримки, або для здешевлення системи.

Для систем стабілізації, які мають жорсткі вимоги до розмірів, особливо які використовуються на мобільних роботах класу «міні», вже важко застосовувати класичні компоненти, тому для зменшення масо-габаритних показників існує шлях переходу від аналогової компонентної бази до цифрової, завдяки розвитку мікроелектроніки та мікропроцесорної техніки. Це також спрощує інтеграцію з іншими системами та дає змогу легко підлаштовувати таку систему під інше обладнання та інші задачі. Також є змога побудувати адаптивну систему, яка за допомогою цифрових регуляторів (ПІ, ПІД та інші) буде сама підлаштовуватись

під обладнання, яке потребує стабілізації, та під умови руху та використання.

У загальному вигляді система стабілізації обладнання складається з:

- Сенсорів та пристроїв/перетворювачів для вимірювання;
- Виконавчих пристроїв;
- Регуляторів.

До вимірюючих пристроїв відносяться датчики, які надають інформацію про кут відхилення системи від площини горизонту. У класичних системах – це зазвичай механічні гіроскопи, або навіть волоконно-оптичні та лазерні, головною перевагою яких є стійкість до збурень та стабільність нуля, що дає змогу отримати точні виміри зміни кутового положення і сприяє високій точності системи стабілізації. Але їх основним недоліком є масо-габаритні характеристики, висока собівартість і дуже часто аналоговий сигнал на виході, що ускладнює інтеграцію, а іноді навіть і робить неможливим їх використання у системі. Завдяки сучасним технологіям є можливість переходу до мікроелектромеханічних (МЕМС) датчиків, але їх основними недоліками є погана стійкість до збурень, великі шуми, нестабільність нуля. Але багато цих недоліків можуть бути вирішенні алгоритмічно. Тому іноді краще використовувати одразу готові системи, які побудовані на МЕМС датчиках, наприклад, такі як курсовертикалі (AHRS). Їх показники точності є достатніми для використання в системах стабілізації в умовах обмеженості масо-габаритних характеристик, значення похибки знаходиться в інтервалі 0,1 - 1 градуси за курсом, та 0,01 - 0,1 градуси за кутами крену та тангажу, що знаходиться в межах порядку точності, яка висувається до систем стабілізації – 0,02 градуси. Точність класичних гіроскопів важко досягти, але такі показники точності в умовах описаних вище обмежень є прийнятними.

До виконавчих пристроїв відносяться електричні машини (двигуни) та редуктори. Основною вимогою до двигуна є потужність та момент, завдяки яким він повинен забезпечити швидкодію та можливість стабілізувати об’єкт, який має певні габарити та вагу. В системі стабілізації дуже часто саме двигун має велику вагу і габарити, так як більшість класичних систем стабілізації розроблені були для стабілізації великих об’єктів. Тому при створенні системи, яка буде використовуватись на мобільному роботі класу «міні», потрібно обрати двигун, вага якого не перевищує 1 кг, та який здатний стабілізувати об’єкт масою до 4-5 кг (ця вага покриває широкий спектр обладнання, такого як камери, радари, антени, далекоміри та інші). Більшість сучасних двигунів постійного струму здатні задовольнити цим параметрам.

Розвиток сучасної електроніки та мікропроцесорів дає змогу побудувати різні види цифрових регуляторів для системи стабілізації. Саме параметри регулятора безпосередньо впливають на якість системи стабілізації. Тому, якщо іде мова про створення адаптивної системи стабілізації, яка буде сама підлаштовувати свої параметри під різні умови руху та різний тип обладнання, що потребує стабілізації, необхідно розробити алгоритм системи керування на мікропроцесорі. На сьогоднішній день існує багато варіантів вибору елементної бази для створення системи стабілізації, яка може задовольнити широкий спектр вимог до неї.

ВИСНОВКИ

Проблема створення та розробки систем стабілізації обладнання є актуальною на сьогоднішній день. Завдяки широкому використанню у багатьох сферах життєдіяльності, перед розробниками постає важка задача – задовольнити необхідні показники точності та швидкодії в умовах обмежених масо-габаритних параметрів. Тому одним з важливих завдань є вибір правильної елементної бази для системи, що розробляється.

Одним з шляхів рішення цієї проблеми є перехід до сучасної елементної бази. Пропонується використання більш сучасних електричних двигунів постійного струму, які можуть створити необхідний момент для стабілізації. Перехід на мікропроцесорну техніку та мікроелектроніку, що дає змогу відмовитись від великих аналогових перетворювачів. Перехід від великих механічних гіроскопів, та систем орієнтації до мікроелектромеханічних. Але тут постає питання точності, хоча на сьогоднішній день вироби на основі МЕМС досягли вже досить непоганих характеристик, але перед розробником стає важке завдання – створення та налаштування алгоритму системи.

Отримані результати будуть використовуватись у подальшому розробленні та вдосконаленні системи стабілізації обладнання, яке встановлюється на мобільному роботі класу «міні».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Rubio. F. A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications / F. Rubio, F. Valero, C. Liopis-Albert // *International Journal of Advanced Robotic Systems.* – 2019. - №2. P. 1-22. DOI: https://doi.org/10.1177/1729881419839596

[2] Ткачук А.Г. Концепція підбору двигунів мобільної роботизованої платформи із автономною системою стабілізації / А.Г. Ткачук // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. — 2023. — №2(34). — С. 241-245

[3] Бурау Н. І. Система стабілізації та наведення для наземних рухомих об'єктів на базі AHRS / Н. І. Бурау, А.І. Вознюк, В. В. Цісарж // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. — 2016. — №29. — С. 155 - 160.

[4] Anwar H. AI. Assaf. Electrical unmanned ground vehicle controller. / Anwar H. AI. Assaf., Odi Fawwaz Alrebei // International Journal of Electrical and Electronics Engineering Studies. — 2021. — Vol. 7(№1). — P. 35-46.

[5] Бурау Н. І. Аналіз ефективності системи стабілізації обладнання мобільного міні-робота на місцевості зі складним профілем / Н. І. Бурау, А. В. Осовцев // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2023. №5(34). — С. 99- 107.

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

УДК 629.058

Г.Ю. Строкач, аспірант гр. ПГ-21ф, к.т.н. Головач С.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, АТ «Елміз»

ВПЛИВ МЕТОДІВ АВТОНАЛАШТУВАННЯ ПІД РЕГУЛЯТОРІВ НА ВИХІДНИЙ СИГНАЛ ТВЕРДОТІЛЬНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПА

Анотація. Розглядається принципи роботи та регулювання твердотільного вібраційного гіроскопа (ТВГ) на основі циліндричного металевого резонатора. Розглядається режим роботи датчика кутової швидкості, що потребує чотирьох ПІД регуляторів для управління контурами фази, амплітуди, компенсації та квадратури. Операції налаштування регуляторів виконуються оператором вручну, шляхом поетапного підбору коефіцієнтів регулятора. Дана робота досліджує можливість автоматизації налаштування цих контурів за допомогою математичних методів розрахунку ПІД коефіцієнтів за допомогою автоматизованого визначення параметрів перехідної характеристики. Дослідження спрямоване на оптимізацію налаштування ТВГ для різних контурів управління, використовуючи існуючі методи.

Ключові слова: твердотільний вібраційний гіроскоп, ПІД регулятор.

ВСТУП

Твердотільний вібраційний гіроскоп (ТВГ) – гіроскопічний прилад, що працює на основі реєстрації чутливими елементом, у вигляді циліндричного металевого резонатора, компонентів сил Коріоліса. Електроди чутливого елемента (ЧЕ) реєструють амплітуду коливань стоячої хвилі резонатора. Контроль зміни амплітуд коливань ЧЕ, на його електродах під дією сили Коріоліса, дає змогу визначити параметри кутового руху ЧЕ [1].

Створення умов коливальної системи ЧЕ для визначення кутової швидкості відбувається за допомогою системи управління (СУ). СУ ТВГ може мати декілька принципово різних видів реалізації. Проте у даній роботі розглядається режим роботи датчика кутової швидкості (ДКШ), який дозволяє вимірювати кутову швидкість обертання приладу за рахунок чіткого розподілу електродів ЧЕ на вхідні і вихідні за місцем їх розташування відносно вузлів та пучностей стоячої хвилі [1]. Основними функціональними частинами алгоритму СУ ТВГ в режимі ДКШ є так звані контури регулювання [2] чотирьох основних параметрів ЧЕ: фази, амплітуди, квадратури та компенсації [3]. Регулювання фази забезпечує необхідне позиціонування стоячої хвилі у резонаторі. Регулювання амплітуди підтримує задану амплітуду збудження коливань стоячої хвилі. Регулятор компенсації дії сили Коріоліса на стоячу хвилю запобігає зміщенню стоячої хвилі під час дії кутової швидкості. Регулятор квадратури забезпечує компенсацію похибки системи управління, яка спричинена сумарним впливом конструктивних відхилень збірки чутливого елемента від номінальних значень. Дані контури регулювання представляють собою схемотехнічні рішення на основі пропорційно-інтегрально-диференціального закону автоматичного регулювання загальновідомого як ПІД регулятор [4].

Отже СУ ТВГ в режимі ДШК для ефективної роботи потребує регулювання чотирьох ПІД регуляторів для контурів управління фазою, амплітудою, компенсацією та квадратурою ЧЕ. Відомо, що операції налаштування зазначених ПІД регуляторів ТВГ на основі металевого резонатора [5] виконуються оператором на основі ручного ітеративного підбору пропорційного, інтегрального та диференціального коефіцієнтів. Першочерговим орієнтиром правильності підбору зазначених коефіцієнтів для окремого контуру

регулювання є форма перехідного процесу, як відгуку на ступінчасту зміну величини регулювання. Критеріями узгодженості спільного регулювання чотирьох контурів є смуга пропускання ТВГ та середньоквадратичне відхилення (СКВ) шуму вихідного сигналу у вигляді кутової швидкості. При збільшенні смуги пропускання за рахунок налаштування контурів збільшується також шум вихідного сигналу і навпаки, тому у залежності від кінцевого застосування ТВГ оператор варіює коефіцієнтами ПІД регуляторів до отримання бажаного результату.

Дана робота спрямована на дослідження можливості автоматизації налаштування контурів регулювання СУ ТВГ на основі перевірки застосування математичних методів розрахунку ПІД коефіцієнтів.

УМОВИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Існує значна кількість відомих методів визначення ПІД коефіцієнтів, які дають можливість уникнути великої кількості ітерацій ручного налаштування завдяки отриманню досить близьких до бажаних результатів роботи окремого ПІД регулятора шляхом математичного розрахунку його параметрів. Проте для такого розрахунку необхідно попередньо визначити параметри поточної перехідної характеристики, а саме: час затримки (t_d) та постійна часу (τ) [1, 3, 4]. Отже, першою умовою для автоматизації налаштування контурів управління ТВГ є автоматизація визначення початкового стану регуляторів даних контурів у вигляді їх перехідної характеристики. Використання цих методів, з алгоритмом визначенням параметрів перехідної характеристики, дозволяє автоматизовано визначати коефіцієнти ПІД регулятора для кожного контуру системи управління ТВГ. Крім того автоматизоване визначення параметрів перехідного процесу для конкретного регулятора також дозволить виконати оцінку результату застосування визначених параметрів ПІД регулятора за певним методом розрахунку. Результат роботи такого програмно-математичного забезпечення, яке автоматизовано визначає параметри перехідного процесу, показано на рисунку 1.

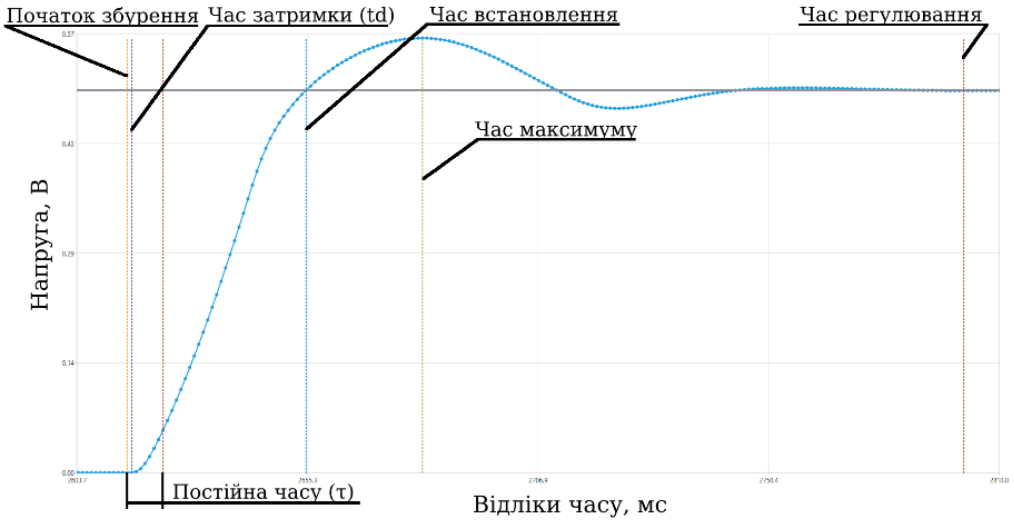


Рисунок 1. Результат автоматизованого визначення параметрів перехідного процесу контуру компенсації

Іншим важливим фактором є те, що регулятори для кожного контуру СУ ТВГ мають різні особливості налаштування. При регулюванні контуру фази допускається перехідний процес з перерегулюванням до 20%. Регулятор контуру амплітуди налаштовують для досягнення періодичного процесу. Регулятор контуру компенсації повинен забезпечити перехідний процес з перерегулюванням до 15%, але при цьому має суттєвий вплив на смугу пропускання. Регулятор контуру квадратури має забезпечувати стійкість СУ при збуреннях системи у вигляді ступінчатої зміни величин регулювання.

Відповідно до наведених умов, необхідно виконати практичне застосування відомих методів автоматичного визначення коефіцієнтів ПІД у СУ ТВГ і на основі результатів їх застосування побудувати відповідність методу автоналаштування ПІД регуляторів до контурів управління.

ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТУ

Для розрахунку коефіцієнтів ПІД регулятора до уваги приймались наступні методи: метод Циглера-Нікольса з високою, нормальною та повільною характеристикою; Чейна регулятор з 0 та 20% перерегулювання; Чейна серво-привід з 0 та 20% перерегулювання. Для простоти, дані методи можна розбити на два типи. З повільною характеристикою, де множник пропорційного коефіцієнту менше 0,6: Циглера-Нікольса з нормальною та повільною характеристикою, Чейна ПІ регулятора з 0% перерегулювання. Зі швидкою характеристикою – всі інші методи з множником пропорційного коефіцієнта вище 0,6 [3, 4].

Для розрахунку тестових параметрів регулятора, вимірювались перехідні характеристики контурів. Вимірювання проводилась в режимі роботи приладу як ДКШ. Тестовим сигналом виступив вихідний сигнал приладу у статиці та динаміці при кутових швидкостях у 1, 10 та 100 град/с та коливанням від 1 до 100 Гц. Оцінювалось СКВ та амплітуда шуму вихідного сигналу, а також смуга пропускання приладу. Вимірювання проводилось на тестовому зразку ТВГ-25 (рисунок 2).

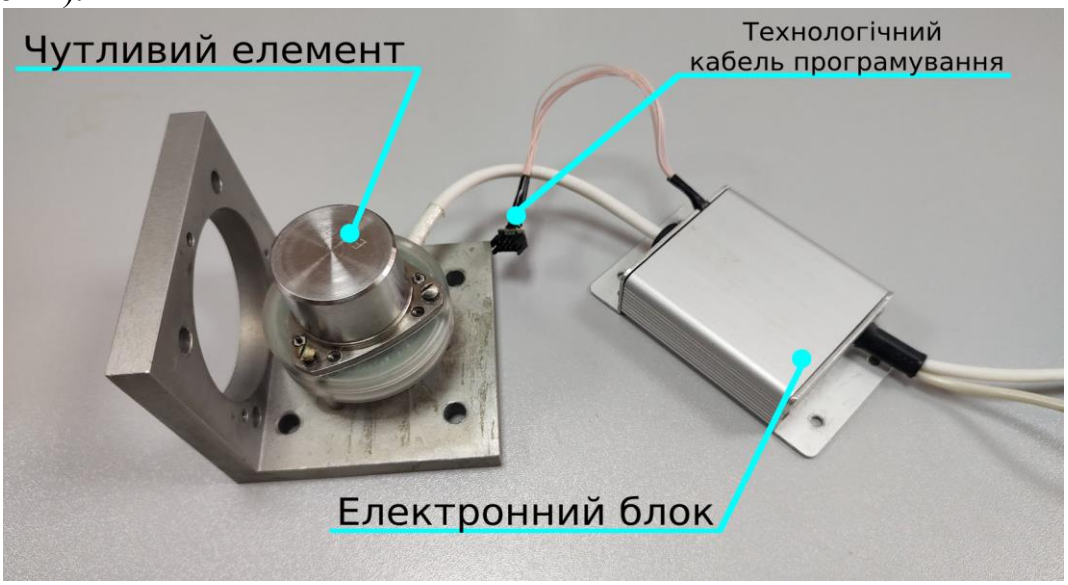


Рисунок 2. Тестовий зразок ТВГ-25

АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Аналіз отриманих даних дозволив виявити, що безпосередньо на вихідний сигнал впливають регулятори контурів амплітуди та компенсації. Так різні методи налаштування регулятора для контуру амплітуди впливають на величину шуму вихідного сигналу. Методи налаштування регулятора контуру компенсації, з якого безпосередньо розраховується вихідний сигнал, впливають на відповідність заданій величині збурень та смугу пропускання. Для контуру квадратури, методи налаштування регулятора впливають на смугу пропускання. Числові значення отриманих результатів для кожного методу представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 Результати експериментального застосування ПІД з коефіцієнтами розрахованими різними методами у СУ ТВГ

Метод	***Контур амплітуди, СКВ град/с***	***Контур компенсації, смуга пропускання, Гц***	***Контур квадратури, смуга пропускання, Гц***
Циглера-Нікольса, швидка характеристика, ПІ	0,0704	78	79
Циглера-Нікольса, швидка характеристика, ПІД	0,0789	80	80
Циглера-Нікольса, нормальна характеристика, ПІ	0,0554	67	74
Циглера-Нікольса, нормальна характеристика, ПІД	0,0585	70	75
Циглера-Нікольса, повільна характеристика, ПІ	0,0532	60	71
Циглера-Нікольса, повільна характеристика, ПІД	0,0413	62	72
Чейна регулятор, 0% перерегулювання, ПІ	0,06	73	76
Чейна регулятор, 0% перерегулювання, ПІД	0,0726	79	78
Чейна регулятор, 20% перерегулювання, ПІ	0,0624	75	77
Чейна регулятор, 20% перерегулювання, ПІД	0,0855	82	81
Чейна серво, 0% перерегулювання, ПІ	0,0542	64	74
Чейна серво, 0% перерегулювання, ПІД	0,0594	72	76
Чейна серво, 20% перерегулювання, ПІ	0,0726	72	76
Чейна серво, 20% перерегулювання, ПІД	0,0601	79	78

Для контуру амплітуди оцінювалось СКВ вихідного сигналу гіроскопа. Найменший шум забезпечується методами з повільною характеристикою: Циглера-Нікольса з повільною та нормальною характеристикою й Чейна з сервопривід з 0% перерегулювання. Найменший шум досягнуто при методі

Циглера-Нікольса з повільною характеристикою для ПІ регулятора.

Для контуру компенсації оцінювалось смуга пропускання гіроскопа. Найбільша смуга досягається при методах, що забезпечуватимуть швидку характеристику. Так найбільша смуга досягнута при налаштуванні регулятора методом Чейна для ПІД регулятора з 20% перерегулюванням. Також для цього методу забезпечувався найкраще відповідність до заданого збурення.

Різні методи налаштування регулятора контуру квадратури не показали прямого впливу на вихідний сигнал та відгук системи у цілому. Проте присутній вплив на смугу пропускання. Так, при використанні методів з повільною характеристикою, зменшувалась смуга пропускання приладу до 40% від максимальної. Виокремити кращий або гірший метод важко, оскільки в даному випадку це буде визначатись вимогою до смуги пропускання приладу. Найбільша смуга досягнута при методі Чейна для ПІД регулятора з 20% перерегулювання, найменша при Циглера-Нікольса з повільною характеристикою для ПІ регулятора.

Виходячи з принципу роботи ТВГ, жорсткість налаштування контуру фази матиме більший вплив при зміні резонансної частоти. Під час роботи основним чинником, що впливає на частоту, є температура резонатора, яка не змінюється швидко. Тому регулятор контуру фази може налаштовуватись методами з повільною характеристикою, наприклад Чейна ПІ регулятор з 0% перерегулювання. Проте, на даному етапі, вплив різних методів налаштування контролера контуру фази на вихідний сигнал за кімнатних умов не виявлено і потребує подальших досліджень.

ВИСНОВОК

Для реалізації досліджень за темою даної роботи було розроблено програмно-математичне забезпечення автоматизованого визначення характеристик перехідних процесів у контурах регулювання СУ ТВГ (рис.1), а також визначення смуги пропускання та СКВ шуму вихідного сигналу ТВГ. За допомогою зазначеного програмно-математичного забезпечення було здійснено практичне застосування більшості відомих методів автоматичного розрахунку параметрів ПІД регуляторів (табл.1) для умов СУ ТВГ.

Згідно сформульованих у даній роботі умов налаштування СУ ТВГ виділено два етапи оцінки ефективності налаштування: критерії перехідного процесу кожного окремого контуру регулювання й критерії загального впливу контурів на вихідний сигнал приладу у вигляді СКВ шуму та смуги пропускання.

У результаті досліджень було підтверджено, що контур фази не має впливу на вихідний сигнал ТВГ, а тому його налаштування звелось до підбору найкращого методу для забезпечення критеріїв регулювання його перехідного процесу. Згідно отриманих результатів, найкращим методом налаштування контуру управління фазою є метод Чейна ПІ регулятор з 0% перерегулювання.

Контури управління амплітудою та квадратурою показали прямий вплив на шум вихідного сигналу. Найкращий результат по мінімізації шуму для цих контурів дає налаштування регуляторів за допомогою методу Циглера-Нікольса для ПІ регулятора, який є методом з повільною характеристикою.

Максимальне значення смуги пропускання ТВГ та, відповідно, зменшення затримки вихідного сигналу у відповідь на зовнішні збурення для контуру компенсації було отримано при застосуванні методу Чейна для ПІД регулятора з 20% перерегулюванням.

Таким чином, для кожного з контурів регулювання ЧЕ ТВГ, за допомогою застосування розробленого програмного-математичного апарату, було вибрано методи автоналаштування коефіцієнтів ПІД регуляторів, які дають змогу отримувати оптимальне значення шуму та полоси пропускання ТВГ у режимі ДКШ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Chikovani, V. V. Vibratory Gyroscopes Based on Micro-Electro-Mechanical and non-Micro-Electro-Mechanical Systems. — Cambridge Scholars Publishing, 2023. — 348 p.

[2] Чіковані, В.В. «Стан та перспективи розвитку вібраційної гіроскопії в Україні та у світі» / В.В. Чіковані, С.В. Головач // Механіка гіроскопічних систем — 2021. — № 41. — С. 61-87.

[3] Chikovani, V. V. «TRIPLE-MODE VIBRATORY GYROSCOPE» / V. V. Chikovani, H. V. Tsiruk, і O. V. Korolova // Військово-технічний збірник — 2018 — № 18. С. 18–25.

[4] Bucz, Š. Advanced methods of PID controller tuning for specified performance. / Bucz, Š., & Kozáková, A. — PID Control for Industrial Processes, 2018. — 73-119 p.

[5] Zhao, W. «Researched on the bias stability of the HRG affected by the temperature and the standing wave azimuth» / W. Zhao, H. Yang, L. Song, X. Yu, F. Liu, Y. Su // Measurement and Control — 2020 — № 53. — С. 1730-1738.

[6] LabVIEW, «Ziegler-Nichols Autotuning Method» — Режим доступу: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview/page/ziegler-nichols-autotuning-method.html — 22.04.2024 р

[7] LabVIEW, «Chien-Hrones-Reswick Autotuning Method» — Режим доступу:https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview/page/chien-hrones-reswick-autotuning-method.html — 22.04.2024 р

Наук. керівник – д.т.н., доцент Аврутов В.В.

УДК 62-5:681.5:007.5

Н.С. Тараненко, студент гр. ПГ-01, к.т.н. Рупіч С.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СУЧАСНІ МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ ШЛЯХУ ДЛЯ АВТОНОМНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

Анотація. Дана робота присвячена методам планування шляху для автономних мобільних роботів. В тезах розглядається автономна навігація, яка має важливе значення для AMR, особливо якщо вони функціонують у важкодоступних або небезпечних середовищах. Розглянуто методи, які використовуються для навігації робота. Зроблено огляд їх особливостей, та проаналізовано умови, в яких доцільне їх використання

Ключові слова: автономний мобільний робот, планування шляху, автономна навігація.

ВСТУП

Autonomous Mobile Robots (AMR) – саме так називають у великих виробничих компаніях роботів для автоматизації різних процесів, здатних самостійно переміщатися у просторі [1]. На сьогодні автономні мобільні роботи застосовуються в різних сферах діяльності. Насамперед, це робиться для того, щоб знизити ризики загрози життю та здоров'ю людини в небезпечних умовах. Наприклад, у токсичному середовищі, при роботі з хімікатами, роботі в замкнутому просторі, взаємодії з небезпечними вантажами тощо. Крім того, AMR виконують інші функції, такі як віддалений контроль за системами безпеки, аналіз рівня запасів на складах, автоматизація вантажно-розвантажувальних робіт, або транспортування продуктів харчування та інших товарів на великих складах. AMR можуть вільно переміщуватися в межах визначених областей. Вони здатні виявляти перешкоди в зоні руху, оминати їх та підхоплювати вантажі різної ваги та розміру. Планування шляху разом із системами сприйняття (або бачення) і керування складають три основні блоки автономної навігації для будь-якого робота чи транспортного засобу. Планування шляху додає автономії таким системам, як безпілотні автомобілі, роботи-маніпулятори, безпілотні наземні транспортні засоби (UGV) і безпілотні літальні апарати (UAV) [2].Тому автономна навігація є важливим аспектом у функціонуванні та навігації мобільного робота, оскільки це надає можливість знаходити найкоротший або оптимальний шлях без перешкод від початкової позиції (початкового стану) до цільового стану. Метою цієї роботи є огляд сучасних методів та підходів планування шляху та навігації для мобільних роботів.

МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ

Шлях представляється набором станів (положення та/або орієнтація) або маршрутних точок [2].Для планування шляху, зазвичай, використовують карту середовища разом із початковим і цільовим станами як вхідні дані. Однак може бути багато можливих шляхів, враховуючи вільний простір, у якому може рухатися робот. У більшості випадків автономія вимагає використання планувальників шляху, які дозволяють роботу визначити, як рухатися з поточного стану в просторі до іншого. Пошук найбільш відповідного алгоритму планування шляху відповідно до вимог користувачів може бути складним завданням, враховуючи величезну кількість підходів, які існують. Це завдання

полягає в пошуку найкращого способу дії, щоб змусити робота досягти бажаного (цільового) стану з поточного (початкового). Цей спосіб дії має форму шляху, який у багатьох інших роботах також називають маршрутом.

Маршрут служить для того, щоб направляти робота до потрібного стану. Однак може бути багато можливих шляхів, враховуючи вільний простір, у якому може рухатися робот. Алгоритми планування шляху, зазвичай, намагаються отримати найкращий маршрут, або принаймні допустиме наближення до нього. Найкращий маршрут тут відноситься до оптимального, у тому сенсі, що кінцевий шлях походить від мінімізації однієї або кількох цільових функцій оптимізації. Наприклад, цей маршрут може бути таким, що вимагає найменшої кількості часу, що критично важливо в таких місіях, як пошуково-рятувальні. Іншою функцією оптимізації, на яку слід звернути увагу, може бути енергія робота. Обмеження в енергетичних ресурсах є головним аспектом в ситуаціях, коли нема прямого доступу людини до місця функціонування мобільного робота. Однією з важливих складових є обмеження адаптованості робота до певної місцевості. Пересування робота та характеристики місцевості обмежують маневри, які можна виконувати. Відповідно, це зменшує кількість можливих шляхів, які планувальник шляху може створити [3].

Методи та алгоритми планування шляху можна класифікувати за різними ознаками. У контексті використання інтелектуальних технологій їх можна поділити на традиційні та евристичні. За характером середовища вони поділяються на методи планування в статичному середовищі і в динамічному (проте слід зазначити, що статичне середовище зустрічається рідко). За повнотою інформації про навколишнє середовище, зазвичай це відноситься до обізнаності про ситуацію в безпосередній близькості робота, існують методи з повною інформацією (в даному випадку мова йде про глобальне планування шляху) і методи з неповною інформацією (локальне планування шляху). До найбільш широко використовуваних категорій методів планування шляху автономних мобільних роботів відносять наступні:

Методи пошуку на основі вибірки, які створюють дерево з можливістю пошуку шляхом випадкової вибірки нових вузлів або конфігурацій роботів у просторі станів. Такий підхід може бути придатним для багатовимірних пошукових просторів. За принципом дії ці методи схожі на такі, що використовуються для пошуку дійсного набору конфігурацій для руки робота, щоб підібрати об'єкт. Створення шляхів для різних практичних застосувань, робить планування на основі вибірки популярним, навіть якщо воно не забезпечує повного рішення [2].

Методи оптимізації траєкторії, які формулюють проблему планування шляху як задачу оптимізації, яка враховує бажану продуктивність робота, відповідні обмеження та динаміку робота. Разом із створенням динамічно здійсненних траєкторій, їх також можна застосовувати для онлайн-планування шляху в невизначених середовищах. Однак, залежно від складності проблеми оптимізації, планування в реальному часі може бути нераціонально тяжким. Такий підхід створений для роботів, які в відносно короткий час мають обрати маршрут, проте він може бути не найбільш оптимальним [2].

Методи планування шляху на основі реактивних обчислень. Ця категорія охоплює підходи до планування шляху, де середовище, як правило карта, на якій нанесено певне розділення області з перешкодами та без них, лише вказує на розташування та форму існуючих перешкод. Методи реактивного обчислення, зазвичай, використовуються як локальні планувальники шляху. Вони охоплюють оточення робота, завдяки їхній здатності швидко обробляти нову інформацію, наприклад, у формі нещодавно виявлених перешкод. Як місцеві планувальники використовуються алгоритми, що планують найближчий наступний шлях або маневр, щоб уникнути найближчих перешкод, дотримуючись глобального плану, складеного іншим алгоритмом. Однак ці алгоритми можуть обчислити локальні мінімальні шляхи або навіть призвести до того, що робот застрягне, тому потрібно бути особливо обережним [4].

Методи планування шляху на основі програмного обчислення. За такого підходу немає мети знаходження точного оптимального рішення, а скоріше наближене до оптимального, допускаючи певний діапазон неточностей. Загалом, ці методи використовують нечіткі правила, тобто застосовують нечітку логіку, яка дозволяє створити після серії ітерацій шаблон, який надає можливість правильно пересуватись відповідно до характеристик середовища. Вони можуть мати справу навіть з динамічним середовищем і є адекватними для вирішення проблем, що включають велику кількість змінних і високий ступінь свободи [5].

Методи планування шляху на основі C-Space-Search. Відповідно до методів в цій категорії, робочий простір планувальника шляху розглядається як простір усіх станів або конфігурацій, доступних роботу. Тому цей робочий простір називається C-Space. Основна ідея даного підходу полягає у використанні дискретного набору зразків, які є частиною цього C-Space. Іншими словами, С-простір є дискретизованим. Цей набір зразків включає початковий і цільовий стани або принаймні відносно близькі до них зразки. Таким чином виконується операція пошуку, відвідуючи зразки з цього набору. У певний момент алгоритмом планування шляху буде знайдено та повернена певна підмножина вибірок, що з’єднують початковий та цільовий стани, що представляють кінцевий шлях [6].

Методи планування шляху на основі оптимального керування. Особливістю цього підходу є створення функції керування, яка переносить робота з початкового стану в С-просторі до місця призначення. Як випливає з назви, в даному випадку проблема планування шляху розглядається з використанням підходу оптимального керування. Тут є дві різні підкатегорії. У першій підкатегорії алгоритми розв’язують рівняння з частковими похідними на сітці на основі принципу динамічного програмування. Друга підкатегорія охоплює алгоритми, які загалом оптимізують уже існуючий шлях, враховуючи динамічні обмеження робота. Основна відмінність від методів, які були наведені вище, полягає в тому, що нема параметрів, які треба налаштовувати [7].

ВИСНОВОК

Всі розглянуті методи планування шляху широко використовують в AMR. Кожен з цих підходів використовується для вирішення відповідної навігаційної

задачі, з урахуванням специфіки середовища функціонування. Наприклад, метод побудови шляху AMR в екстремальних умовах не підходить для функціонування на складі. Тому в залежності від цільового призначення, доцільно обирати такий підхід та алгоритм, що найбільше підходить під вирішення конкретного завдання. Розробка та пошук нових методів та алгоритмів планування шляху ведеться постійно, оскільки розвиток техніки, а особливо впровадження штучного інтелекту, значною мірою впливає на забезпечення автономної навігації мобільних роботів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Тенденції робототехніки, які матимуть безпрецедентний вплив на ринок праці у 2024 році. — Режим доступу : https://robotics.ua/2024-zminyt-svit-nazavzhdy-10-trendiv-robototekhniky/
[2] Path Planning. — Режим доступу: https://www.mathworks.com/discovery/path-planning.html
[3] Path Planning for Autonomous Mobile Robots. — Режим доступу:https://www.mdpi.com/1424-8220/21/23/7898
[4] Reactive Motion Planning Algorithms. — Режим доступу: https://roboticsmp.medium.com/reactive-motion-planning-algorithms-14f29d0186e7
[5] Mac,T.T. Heuristic approaches in robot path planning: A survey / T. T. Mac, C.Copot, D. T. Trang, R. D. Keyser // Robotics and Autonomous Systems. — 2016. – Vol. 86. – P.13-28.
[6] The Relationship between "C-Space", "Heuristic Methods", and "Sampling Based Planner". — Режим доступу: https://www.intechopen.com/chapters/78350
[7] Tonon, D. Optimal Control: Novel Directions and Applications / D. Tonon., M.S Aronna., D. Kalise // Springer. — 2017. — Vol. 1.

УДК 621.391

Р.І. Тепленко, студент гр. ПГ-01, к.т.н., доц. Півторак Д.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ БЛОК ЗАХИСТУ ПОМЕШКАННЯ З GSM-МОДУЛЕМ

Анотація. Людство йде в ногу з часом і стрімкий розвиток технологій витісняє старі, вже не такі дієві, методи захисту від побутових аварій та від крадіжок. Для завчасного попередження про вищезгадані неприємні для користувачів ситуації ключову роль грають системи захисту відомі як охоронні сигналізації. В даній роботі представлений прилад побудований на базі GSM-модуля та з використанням декількох датчиків розумного будинку. За основну взято апаратний мікроконтролер Arduino Uno.

Ключові слова: GSM-модуль, сигналізація, автоматизований блок, охорона.

ВСТУП

Забезпечення цілісності та безпеки будинків є важливою метою в житті в кожної людини. Часто в житті людини трапляються не дуже приємні ситуації пов’язані із пограбуваннями осель чи деякими побутовими аваріями. За статистикою Україна посіла в рейтингу злочинних пограбувань 57-е місце з 136 з показником 47,42 злочини на 100 тисяч жителів. Примітно, що на сходинку вище від України розташувалися США (47,81) [1]. Не завжди можливо попередити пограбування будинку, тому в світі активно розвивається охоронна діяльність та різні автоматизовані системи, принцип роботи яких полягає в швидкому сповіщенні власника про порушення цілісності його оселі, що є одним із найголовніших критеріїв при встановленні подібної системи.

На сьогоднішній день є декілька аналогів таких систем. Один з найпопулярніших аналогів - система Ajax. Сигналізація Ajax виконує не одну, а одразу три захисні функції: миттєво повідомляє, про несанкціоноване проникнення в дім, появу диму або початку потопу. До неї підключаються відеокамери стеження сторонніх виробників, що перетворює Ajax на єдиний центр безпеки [2]. Існують також подібні аналоги, такі як Hikvision, Paradox та ін. Принцип роботи цих систем ідентичний та всі вони мають свої переваги та недоліки. Головною їхньою спільною перевагою є те, що вони надають можливість користувачеві здійснювати віддалений контроль за об’єктом у будь-який час.

GSM-модуль чудово справляється з можливістю віддаленого контролю, адже він є модулем зв’язку і виконує функцію оповіщення користувача про аварійні випадки чи спроби злому. Таким чином, актуальною задачею є створення автоматизованого пристрою для швидкого сповіщення користувача про втручання в цілісність будинку.

АВТОМАТИЗОВАНИЙ БЛОК ЗАХИСТУ НА БАЗІ GSM-МОДУЛЯ SIM800L

Автоматизований блок захисту приміщення складається з датчика диму, датчика води, датчика руху, датчика відкриття дверей, GSM-модуля, мікроконтролера Arduino, звукового сповіщувача та двох-контактного реле. Структурна схема зображена на рис.1.

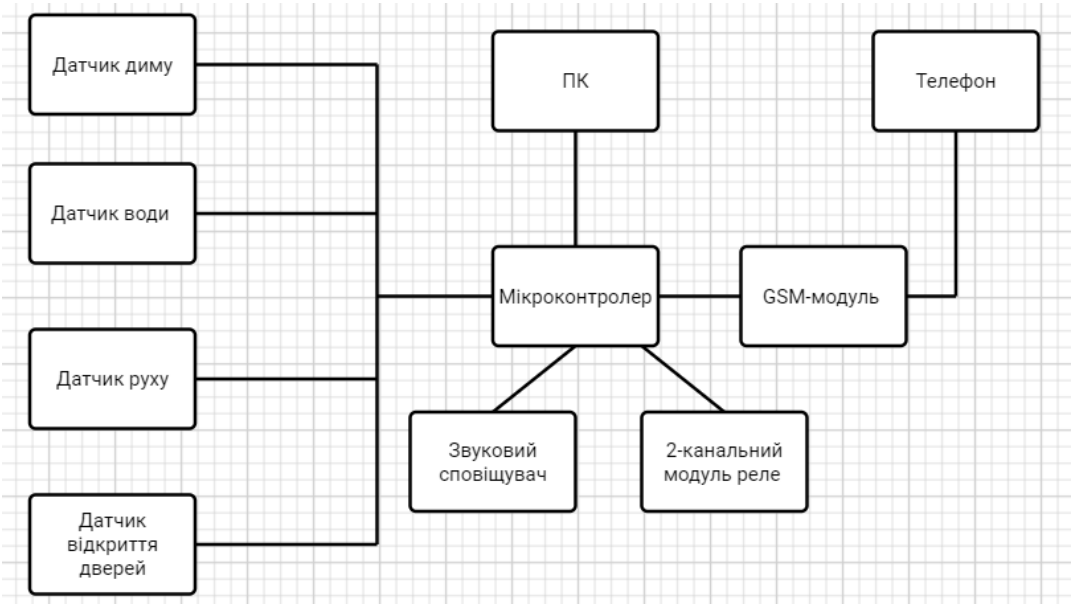


Рисунок 1. Структурна схема автоматизованого блока захисту приміщення

Мініатюрний модуль GSM/GPRS стільникового зв'язку на основі компонента SIM800L, розробленого компанією SIMCom Wireless Solutions. Стандартний інтерфейс керування компонентом SIM800L надає доступ до сервісів мереж GSM/GPRS 850/900/1800/1900МГц для надсилання SMS-повідомлень, дзвінків та обміну цифровими даними GPRS. Комплектується вбудованою антеною, також можна під'єднати додаткові антени для покращення якості сигналу [3].

Керувати модулем можна за допомогою персонального комп'ютера через перетворювач інтерфейсу USB-UART або безпосередньо через UART модулем мікроконтролера самостійної розробки або Arduino, Raspberry Pi та аналогічними. Основні характеристики модуля SIM800L представлені в табл.1.

Таблиця 1. Основні характеристики модуля SIM800L[4]

№ п/п	***Назва параметру***	***Характеристика***
1	Діапазони GSM	850/900/1800/1900 МГц
2	Напруга живлення	5 В
3	Струм споживання	800 мА
4	Керування АТ командами	Через UART
5	Напруга логічних рівнів UART	3…5 В
6	Робочий температурний діапазон	-30…+80ºС
7	Розміри	27 х 39 мм

Хоча в характеристиках вказано, що модуль можна живити від 5 В, але від Arduino Uno він працювати категорично відмовляється, тому для його підключення і стабільної роботи краще використати додаткове джерело напруги зі знижуючим перетворювачем. Однак, що є дуже важливим, у модуля та мікроконтролера має бути спільне заземлення.

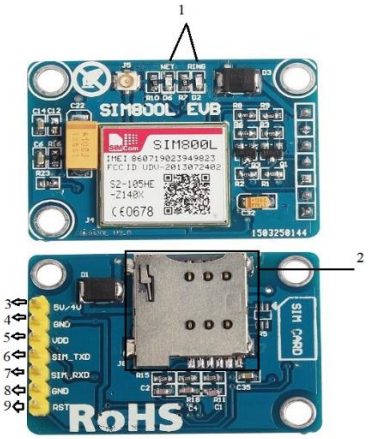


Рисунок 2.Вигляд модуля SIM800L[5]

На рис.2 зображено зовнішній вигляд модуля SIM800L, де 1- сигнальні діоди, які показують стан модуля в мережі; 2 - роз'єм для SIM-карти; 3,5 - піни напруги; 4,8 - піни землі; 6,7 - піни UART; 9 - пін зовнішнього перезавантаження. За допомогою виходів 6 та 7 здійснюється підключення до мікроконтролера та передача даних. Відбувається це наступним чином: TX(SIM800L)-RX (Arduino) та RX(SIM800L)-TX (Arduino). Сигнальний світлодіод 1 (NET) сигналізує про стан модуля в мережі. Коли він світиться кожну секунду це означає, що модуль в пошуку мережі, а коли раз в три секунди – модуль готовий до роботи.

Розроблений автоматизований блок захисту приміщення містить декілька датчиків пожежної та охоронної сигналізації.

В роботі також використано 2-канальний модуль реле, зображений на рис.3.

Рисунок 3. 2-канальний модуль реле [6]

Модуль реле в майбутньому слугуватиме для підключення до нього вентилятора і лампочки. Вентилятор буде вмикатися при спрацюванні датчика газу, а лампочка буде вмикатися при спрацюванні датчика руху.

На рис.4 показана схема підключення автоматизованого блока, де 1 - датчик відкриття дверей, 2 - датчик газу та диму, 3 - GSM-модуль, 4 - звуковий сповіщувач, 5 - Arduino Uno, 6 - ІЧ датчик руху, 7 - модулі реле, 8 - датчик дощу та води. Також на схемі використані діоди, макетна плата резистори та з'єднувальні дроти.

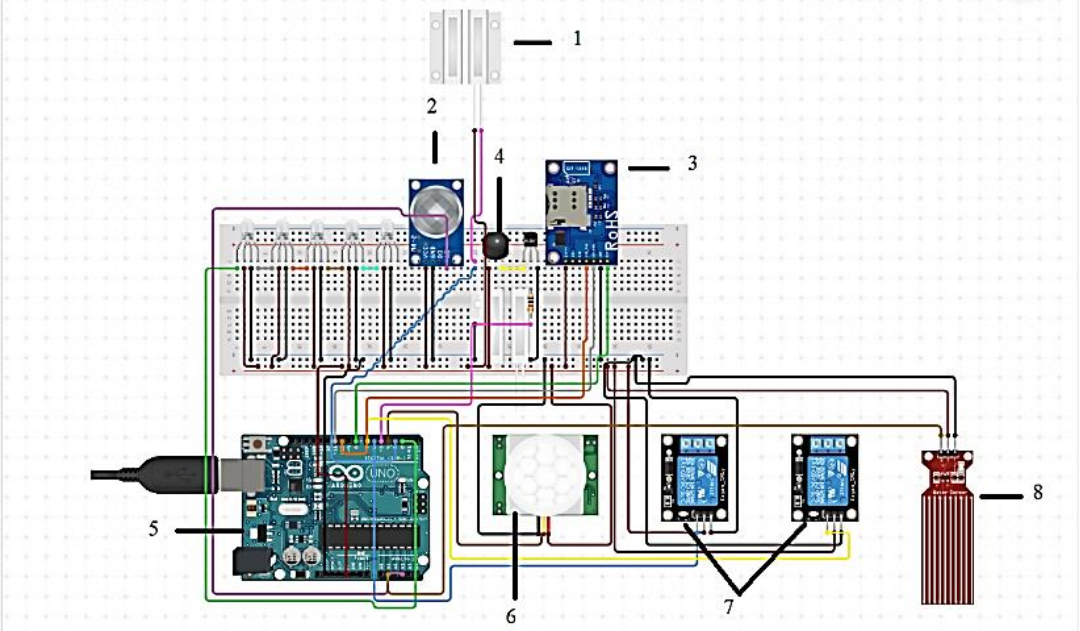


Рисунок 4. Схема підключення автоматизованого блока захисту приміщення з GSM-модулем

ВИСНОВОК

У роботі було запропоновано розробити автоматизований блок для захисту помешкання з GSM-модулем. Пристрій також містить декілька датчиків пожежно-охоронної сигналізації. Автоматизований блок захисту дозволяє зменшити можливість несанкціонованих проникнень в будинок та можливих побутових аварій. Знаходячись на великій відстані від приміщення користувач може бути впевнений про стан свого будинку, а різноманітні датчики дають змогу передбачити різні види небезпеки і попередити про це заздалегідь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Країни світу з найвищим рівнем злочинності [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.unian.ua/tourism/news/krajini-svitu-z-nayvishchim-rivnem-zlochinnosti-u-2023-roci-na-yakomu-misci-ukrajina-12107013.html

[2] Як працює ajax. *Ajax systems*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ajax.systems/ua/how-it-works/

[3] Модуль стільникового зв'язку gsm і gprs для arduino sim800l – mehanika.net.ua. *Mehanika.net.ua*.[Електронний ресурс]. Режим доступу: https://mehanika.net.ua/product/gsm-modul-sim800l/

[4] DiyLab – електронні модулі та компоненти [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://diylab.com.ua/p706064827-gsm-gprs-modul.html

[5] Sim800l v2.0 5v wireless gsm gprs module quad-band with antenna – robotist. *Robotist – india's biggest robotics, engineering, diy online store*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://robotist.in/product/sim800l-v2-0-5v-wireless-gsm-gprs-module-quad-band-with-antenna/

[6] 2-channel relay. *Mini-tech*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.mini-tech.com.ua/ua/2-kanalnij-rele-modul-elektromehanicheskij-s-optorazvyazkoy .

Науковий керівник: к.т.н., доц. Д.О. Півторак

УДК 673.24

О.О. Харковський, студент гр. ПГ-01, к.т.н., ст. викл. Сапегін О.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

САМОБАЛАНСУЮЧИЙ КУБ

Анотація: У роботі наведено деталі розробки стабілізуючої системи на прикладі самобалансуючого кубу. Представлено основні підходи при створенні конструкції для системи стабілізації, а саме елементів корпусу, підвісів виконавчих двигунів та стабілізуючих маховиків. Впроваджено та адаптовано відоме алгоритмічно-програмне забезпечення для тривісної стабілізації, що ґрунтується на оцінці поточної орієнтації об'єкту мікромеханічним інерціальним вимірювальним модулем та формуванні виконавчих сигналів за допомогою мікроконтролера Arduino.

Ключові слова: система стабілізації, ефективність, робототехніка, інерціальний вимірювальний модуль, конструкція, маховик.

ВСТУП

У сучасному технологічному світі автономні системи стабілізації відіграють ключову роль у розвитку робототехніки та інженерії. Проте, через дороговизну технологічного процесу виготовлення, матеріалів та апаратного забезпечення, вони не є доступними для більшості користувачів [1]. У роботі показано розробку бюджетної та ефективної системи стабілізації. Покладаючись на основні математичні принципи, які лежать у основі процесу стабілізації, було реалізовано інженерну конструкцію, яка вміщує усі компоненти системи стабілізації. У статті було розглянуто процес інженерної розробки корпусу, в якому вдалося розмістити усі компоненти системи тривимірної стабілізації кубу та мікроконтролер з інерціальним вимірювальним модулем. Представлена конструкція дозволяє не лише оптимізувати простір та ресурси, але й забезпечує зручність у використанні та обслуговуванні.

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ БАЛАНСУВАННЯ

Для синтезу тривісної системи стабілізації необхідно встановити основні математичні особливості роботи системи, що дасть змогу вибрати необхідні компоненти. Схема дій сил і моментів на одновісну стабілізуючу систему наведена на рис.1

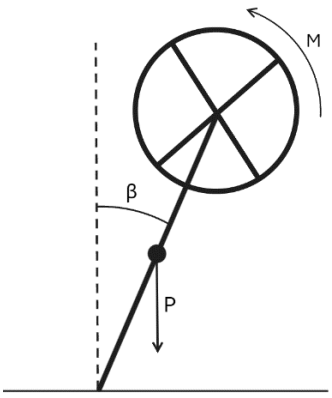


Рисунок 1. Схема дії сил і моментів системи

Для того щоб система балансувалась, крутний момент мотору має врівноважувати інертність конструкції. Отже, максимальний кут відхилення системи від осі рівноваги з якого система може повертатись до нього залежить від максимального крутного моменту двигуна. Динамічні рівняння системи мають вигляд:

$$M = aI \tag{1}$$

Крутний момент M дорівнює добутку кутового прискорення a на момент інерції I. Це працює для маховика і всієї платформи.

$$P\sin(\beta) - M_m = a_p I_p \tag{2}$$

$$M_m = a_m I_m \tag{3}$$

де a_m і a_p – кутове прискорення маховика і конструкції, I_m і I_p – момент інерції

маховика і конструкції, P – вага конструкції, β – кут нахилу конструкції відносно осі рівноваги.

При встановленні платформи у точку рівноваги, можемо прибрати кутове прискорення платформи .

$$P\sin(\beta) = a_m I_m \tag{4}$$

Вийшло рівняння балансу, з якого можна отримати характеристики платформи, які нас цікавлять. Для того, щоб система балансувала потрібно знайти оптимальне співвідношення ваги конструкції, крутного моменту двигуна та маси маховика [1].

АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

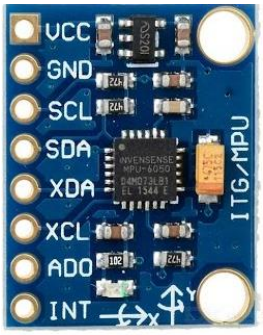


Рисунок 2. MPU6050

Рисунок 3. Безколекторний двигун Nidec-24h

Інерціальний вимірювальний модуль (IBM) MPU-6050 (рис.2) в цій системі виступає як сенсорний блок, який забезпечує вимірювання прискорення та кутової швидкості. Він включає трьохосьові акселерометр та гіроскоп, які дозволяють системі визначати свою кутову орієнтацію з достатньою точністю. IBM має вбудований АЦП, що значно спрощує роботу з ним. Основні характеристики MPU-6050 представлені в табл.1 [2]. Безколекторний двигун (рис.3) у цій системі використовується для забезпечення стабілізації шляхом контролю моменту інерції. Цей мотор має вбудований драйвер, що спрощує керування ним. Деякі характеристики представлені в табл. 2 [3]. У якості мікроконтролеру системи було вибрано Arduino Nano [4]. Він забезпечує координацію роботи всіх компонентів системи стабілізації. Схема підключення компонентів показана на рис.4.

Таблиця 1. Основні характеристики модуля MPU6050

№ п/п	*Характеристика*	*Значення*
1	Зв'язок	I2C протокол
2	Діапазон вимірювань гіроскопів	±250 500 1000 2000 °/c
3	Діапазон вимірювань акселерометрів	±2 4 8 16 g
4	Розрядність АЦП	16 біт
5	Розміри	20мм х 16 мм

Таблиця 2. Деякі характеристики Nidec-24h

№ п/п	*Характеристика*	*Значення*
1	Маса	110 г
2	Крутний момент	70 мн м
3	Потужність	11 Вт

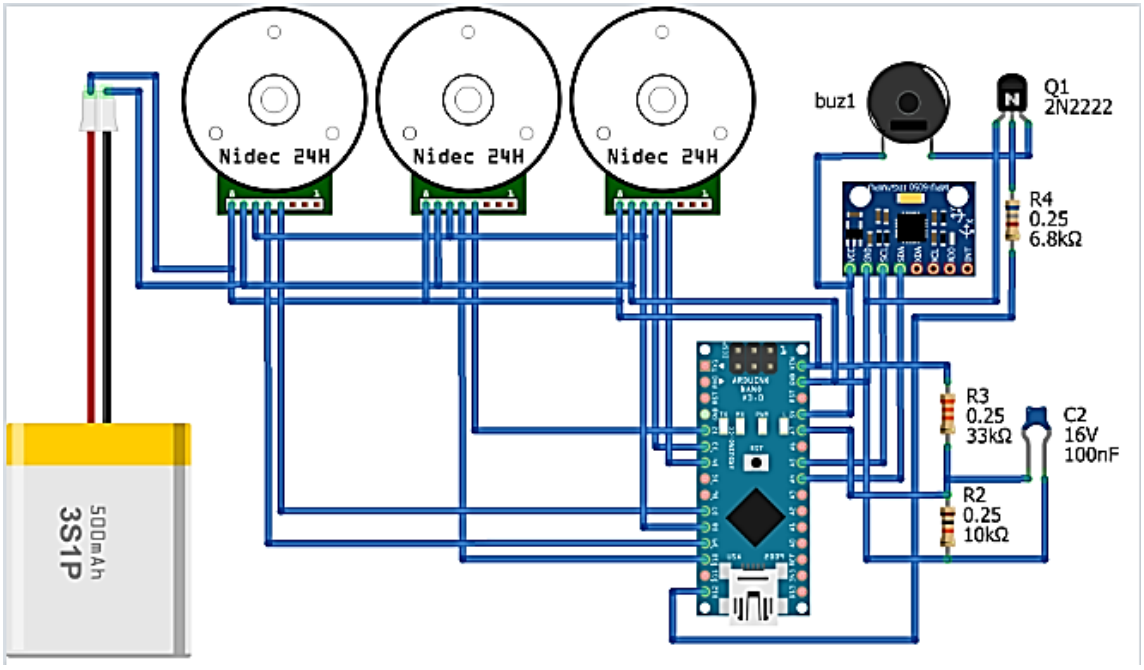


Рисунок 4. Схема підключення системи

КОРПУС-КАРКАС

Матеріал для корпусу обирався по критеріям міцності, дешевизни та простоти в обробці. Було обрано фанеру 4 мм, товщина якої визначилась емпіричним шляхом. Каркас представляє собою куб з довжиною ребра 175 мм. У залежності від несучої функції грані, було прорізано віконця для зменшення ваги таким чином, щоб матеріал який залишився формував ребра жорсткості як показано на рис.4 та 5. Маховик вирізаний з того ж матеріалу. По його периметру передбачені отвори, у які можна встановлювати різну кількість грузил, для регулювання маси маховика і балансування. Вся електроніка та елементи живлення знаходиться на полиці таким чином, щоб вага рівномірно розподілялась на ній і не змінювала центр мас всієї конструкції. Полиця кріпиться до трьох взаємно перпендикулярних граней таким чином, щоб центр мас конструкції був максимально низько. Двигун закріпляється на кріпленні, яке, в свою чергу, кріпиться до грані на стійках з фанери.

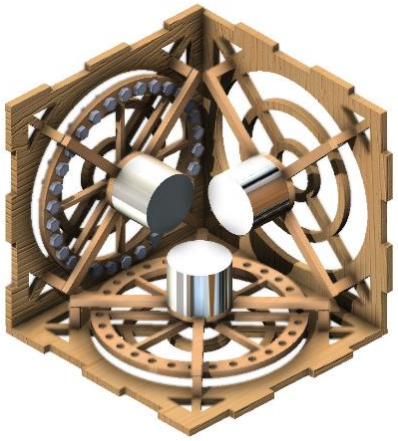


Рисунок 4. Модель каркасу. Частина кріплення двигунів

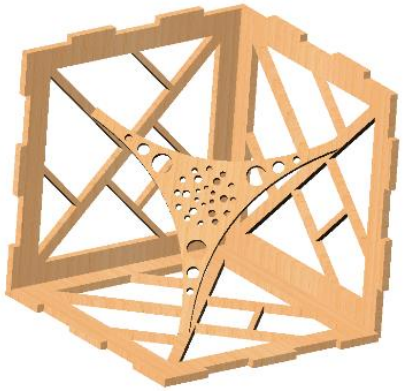


Рисунок 5. Модель каркасу. Частина кріплення електроніки

ВИСНОВОК

У цій роботі розглянуто процес розробки бюджетної та ефективної системи стабілізації, яка відкриває більше можливостей в розвитку робототехніки та інженерії. Шляхом

математичного аналізу принципів стабілізації та інженерного дизайну, було розроблено конструкцію, що вміщує всі необхідні компоненти, оптимізує використання простору та ресурсів, а також забезпечує зручність у використанні та обслуговуванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Stabilization of Platform Using Gyroscope — [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814002525?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=88240b045a3d35a6

[2] MPU-6050 Datasheet, PDF — [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Mpu6050&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwrcKxBhBMEiwAIVF8rLuEZVw2GgxZYSOy18I9x1SAIsgmhpK8yRgQait7yGkbHZ71xDOBoCcEkQAvD_BwE

[3] CMC_24H series — [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.nidec.com/en/product/search/category/B101/M102/S100/NCJ-24H-24-01/

[4] Arduino Nano docs — [Електронний ресурс] Режим доступу: https://docs.arduino.cc/hardware/nano/

Науковий керівник: к.т.н. Сапегін О.М.

УДК 551.5

О.В. Чуніцький, студент гр. ПГ-п11, асист. Паздрій О.Я.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Анотація. У даній роботі приведено аналітичний огляд основних типів систем автоматичного керування положенням сонячних панелей (сонячних трекерів) для підвищення ефективності продукування сонячною панеллю електроенергії.

Ключові слова: сонячний трекер, енергоефективність, сонячна панель, фотоелектрична система.

ВСТУП

Сьогодні викопні види палива займають провідне місце в енергетиці, на них припадає 85% всіх ресурсів, що використовуються для виробництва енергії. Ресурси викопного палива поступово вичерпуються, а їх використання спричиняє забруднення навколишнього середовища та глобальне потепління через викиди парникових газів. Тому намітилася тенденція до альтернативи викопному паливу, яке поступово почало заміщуватися джерелами відновлюваної енергії. Сталість, достаток і повсюдність - всі ці фактори зробили сонячну енергію найкращим вибором відновлюваної енергії для задоволення зростаючих потреб в електроенергії.

В сучасному світі енергоефективність стоїть на першому місці. Через ситуацію з якою стикнулася наша країна, недостача кількості виробленої електроенергії через обстріли критичної інфраструктури, стало зрозуміло, що альтернативні джерела енергії є чудовим варіантом, як для особистого користування, так і для цілих підприємств, міст, тощо. На даний момент необхідність розвитку відновлюваних джерел енергії обумовлена наступними факторами:

- можливістю вирішення проблем будівництва ліній електропостачання для віддалених, важкодоступних та екологічно напружених районів;
- скорочення обсягів будівництва ліній електропередач, особливо у важкодоступних та віддалених місцях;
- участю їх в оптимізації графіків завантаження устаткування на електростанціях з урахуванням їх сезонного використання;
- зниження викидів, що дозволяє фінансувати будівництво за рахунок оплат «квот за викиди».

Одним із альтернативних видів отримання енергії, є сонячна панель, вона виробляє електроенергію шляхом перетворення сонячної енергії в постійний струм. Підвищити ефективність сонячних панелей можна за рахунок використання сучасних автоматизованих систем керування положенням сонячних панелей, а саме сонячних трекерів.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ ПАДІННЯ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Перший механічний сонячний трекер був створений у 1962 році Фінстером [1]. Пізніше більше сонячних трекерів почали з'являтися в 1970-х роках, коли було видано кілька патентів на нові пристрої, які відстежували сонце різними способами.

Серед цих патентів - патент Амістура Барака, який був виданий Адміністрацією енергетичних досліджень і розробок Сполучених Штатів Америки. Пристрій Барака являє собою раму сонячної панелі з двома теплорозширювальними елементами і затіненою пластиною на полярній осі, орієнтованій на сонце, щоб відстежувати його протягом дня. Вранці перший терморозширювальний елемент нагріває рідину, що розширюється, і орієнтує сонячну панель на сонце, тоді як другий терморозширювальний елемент затінений пластиною. Протягом дня другий терморозширювальний елемент нагрівав рідину, що розширюється при русі сонця, і знову орієнтував сонячну панель на сонце, в той час як перший терморозширювальний елемент був затінений. Цей пристрій був інноваційним, оскільки не потребував енергії для переміщення пристрою і збільшував потужність сонячної панелі порівняно з фіксованою панеллю. Однак, він мав певні проблеми, кількість позицій була обмежена двома, а час необхідний для початкового нагрівання становив близько години. Крім того, система не працювала в похмурі дні або в холодну погоду, що не дозволяло їй нагріватися настільки ж ефективно [2].

Математична модель наведення (хронометричний трекер) використовується, як система стеження, яка використовує виключно заздалегідь визначені алгоритми, засновані на математичних розрахунках для визначення положення сонця в певний момент часу. Цей метод не задіює жодного ланцюга зворотного зв'язку чи датчика. Таким чином, алгоритм несе повну відповідальність за ефективну роботу системи. У Нувайхід та ін. розробили простий і недорогий відстежуючий параболічний концентратор, функціонування якого повністю базувалося на попередньо розрахованих кутах азимута і висоти [3].

Мікропроцесори і електрооптичні датчики використовуються для визначення положення сонця. Сигнал подається на мікропроцесор, який далі передає сигнал моторам, щоб вони працювали в потрібному напрямку. Також у [3] серед розглянутих методів представлено досить точну одновісну систему стеження за Сонцем, що використовує 3 світлозалежних резистори як датчики, електронну схему та двигун постійного струму з редуктором. В якій датчики подають вхідний сигнал на електронну схему, яка далі приводить в дію двигун.

Останньою серед розглянутих у роботі [3] є двовісна **Гібридна система**, яка працює за заздалегідь визначеним алгоритмом, але для перевірки роботи в цілому задіяні датчики. Вони перевіряють положення сонця, а приводи орієнтують панелі відповідно. Назва "гібридна" тут вказує на змішану стратегію відстеження, що використовується: відкрите відстеження, яке базується на моделі руху сонця, і закрите відстеження, яке повертає назад сигнал, пропорційний згенерованій вихідній потужності, виміряній датчиками [3].

Керування двовісним сонячним трекером на основі радіометричного куба для максимізації вихідної потужності фотоелектричної системи. Дослідження такої системи було зовсім недавно, у [4] проведено її експериментальне порівняння зі стандартним хронометричним сонячним трекером. З математичного виразу освітленості на чотирьох гранях радіометричного куба (тобто на сході, заході, півдні та зеніті), враховуючи, що освітленість небесного склепіння є рівномірною, визначено раціональну орієнтацію сонячного трекера. Ця раціоналізація дозволяє трекеру змінювати своє положення для отримання

максимального випромінювання на одиницю площі за будь-яких метеорологічних умов. Результати показали, що в періоди ясного неба управління радіометричним кубом стає схожим на стандартне хронометричне стеження за сонцем, слідуючи за траєкторією сонця з невеликим нахилом, ймовірно, через високу відбивну здатність ґрунту поблизу куба в місці його фактичної установки. Запропонований метод керування сонячною панеллю забезпечив збільшення вироблення енергії в 40,5% для похмурого дня. У період дуже мінливих погодних умов керування за допомогою радіометричного куба коригує положення сонячного трекера, щоб максимізувати опромінення, яке отримав сонячний трекер. Однак, було виявлено, що існує часова затримка, коли трекер повертається до сонця, коли сонце з'являється на короткий період, що призводить до незначних втрат вихідної енергії в розмірі 1% порівняно з відстеженням за допомогою хронометражу [4].

ВИСНОВОК

На основі проведеного аналітичного огляду існуючих методів та засобів побудови автоматизованих систем керування положенням сонячних панелей, можна зробити висновок, що застосування таких систем суттєво підвищує ефективність сонячних панелей. З огляду на те, що існують різні підходи до вирішення цієї проблеми, кожен з яких має свої переваги та недоліки, потрібно обрати раціональний метод, який буде спрямований на максимізацію збору сонячної енергії та забезпечення ефективної роботи сонячних панелей. Адже, кожен метод має свої обмеження, такі як витрати на технічне обслуговування, обмежену кількість позицій для відстеження чи залежність від погодних умов. Таким чином, вибір раціонального методу визначення напрямку для сонячних панелей залежить від конкретних умов встановлення, вимог до ефективності та бюджетних обмежень. Таким чином, вдосконалення механічних трекерів та розробка сучасних автоматизованих систем керування положенням сонячних панелей є актуальною задачею, вирішення якої дозволить досягти більш точного та ефективного відстеження положення сонця, що призведе до підвищення продуктивності сонячних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Z.Hafez. Comparative evaluation of optimal energy efficiency designs for solar tracking systems / H.Shazly, B.Eteiba // Proc. of the Third Intl. Conf. on Advances Science and Environmental Engineering – 2015 – pp.134–141.

[2] Hubach J. O. Solar Tracking Using a Parallel Manipulator Mechanism to Achieve Two-Axis Position Tracking. Other Mechanical Engineering Commons : Thesis, 10 квіт. 2019 р.

[3] Review on sun tracking technology in solar PV system / A. Awasthi та ін. Energy Reports. 2020. Т. 6. С. URL: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.02.004

[4] Control strategy for a dual-axis sun tracker based on a radiometric cube to maximize the power output of the PV system / M. H. Andriamahefa та ін. EPJ Photovoltaics. 2023. Т. 14. С. 35. DOI: https://doi.org/10.1051/epjpv/2023022

Секція 2.
Оптичні та оптико-електронні прилади і системи

УДК 681.7.067.2

Б. М. Борсук, студент гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Боровицький В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПЕРЕВАГИ АРХІТЕКТУРИ GPU NVIDIA ADA LOVELACE

Анотація. У статті розглядається NVIDIA Ada Lovelace , яка була розроблена для забезпечення продуктивності для професійної графіки, відео, ШІ та обчислень.. Архітектура графічного процесора Ada Lovelace від NVIDIA забезпечує рекордну продуктивність із вищою частотою кадрів, розширеними інженерними інноваціями та новими функціями, такими як DLSS 3 і прискорювач оптичного потоку, що забезпечує до 4-кратного підвищення продуктивності порівняно з попереднім поколінням.
Ключові слова: nvidia, графіка, обмежувальний обсяг, Ada , рівень деталізації операцій, TSMC.

ВСТУП

Запущена в 2018 році архітектура NVIDIA® TuringTM GPU відкрила майбутнє 3D- графіки та обчислень із прискоренням GPU. Створено для забезпечення видатної професійної графіки , ШІ та продуктивності обчислень. Запущена в 2018 році архітектура графічного процесора NVIDIA® TuringTM відкрила майбутнє 3D- графіки та обчислень із прискоренням GPU. Turing забезпечив значні досягнення в ефективності та продуктивності комп'ютерних ігор, професійних графічних програм і глибокого навчання. Використовуючи нові апаратні прискорювачі, Turing поєднав растеризацію, трасування променів у реальному часі, штучний інтелект та симуляцію, щоб забезпечити неймовірний реалізм у програмному забезпеченні для створення професійного вмісту, інтерактивні враження кінематографічної якості та комп'ютерні ігри. Два роки потому, у 2020 році, архітектура NVIDIA Ampere включила потужніші ядра RT і тензорні ядра, а також нову структуру SM, яка запропонувала 2x FP32 продуктивність, тактову частоту, порівняно з графічним процесором Turing. Ці інновації дозволили архітектурі Ampere працювати в 1,7 раза швидше, ніж Turing у традиційній растрової графіці , і до 2 разів швидше в трасуванні променів.

Нова архітектура графічного процесора NVIDIA Ada Lovelace, названа на честь математика Ади Лавлейс, яку часто вважають першим у світі програмістом1, піднімає планку набагато вище графічних процесорів Turing і Ampere. У той час як удосконалення процесу виробництва кремнію сповільнилося, сучасна комп'ютерна графіка спостерігала експоненціальне зростання складності. Збільшення геометричної складності та інновації в освітленні призвели до того, що графіка виглядає більш реалістичною, ніж будь-коли раніше. Ada забезпечує найбільше підвищення продуктивності в історії NVIDIA.

ТЕХНОЛОГІЇ ADA[1]

1. Ядра RT третього покоління

Ядра RT третього покоління забезпечують у 2 рази більшу продуктивність трасування променів порівняно з попереднім поколінням, забезпечуючи новаторську продуктивність для фотореалістичного рендерингу. Покращені ядра RT у поєднанні з технологією Shader Execution Reordering (SER) динамічно змінюють порядок неефективних робочих навантажень, значно підвищуючи продуктивність шейдерів для прискорення наскрізної обробки зображень із

трасуванням променів.

2. Тензорні ядра четвертого покоління

Тензорні ядра архітектури Ada Lovelace розроблені для прискорення трансформаційних технологій ШІ, таких як інтелектуальні чат-боти, генеративний ШІ, обробка природної мови (NLP), комп'ютерне бачення та NVIDIA Deep Learning Super Sampling 3.0 (DLSS 3). Тензорні ядра Ada Lovelace забезпечують структуровану розрідженість і 8-бітну точність з плаваючою точкою (FP8), що забезпечує до 4 разів вищу продуктивність логічного висновку порівняно з попереднім поколінням. FP8 зменшує навантаження на пам'ять порівняно з більш високою точністю та значно прискорює пропускну здатність ШІ.

3. Ядра CUDA

Ядра CUDA[2] — це платформа розробки програмного забезпечення, яка дозволяє використовувати графічні процесори (GPU) для виконання паралельних обчислень. Вона надає програмістам можливість писати спеціальний код, який виконується на GPU. Основна ідея полягає в розбитті завдань на менші "потоки", які виконуються паралельно на різних ядрах GPU. Потоки (pipes) — це найменші обчислювальні одиниці в CUDA. Вони виконуються паралельно. Потоки групуються в блоки, які виконуються на одному ядрі GPU. CUDA надає різні види пам'яті: глобальна, локальна, константна, властива та регістрів. Потоки можуть читати та записувати дані в ці різні види пам'яті. Кожне ядро GPU виконує однаковий код для кожного потоку. Ядра виконують арифметичні операції, логіку та інші обчислення.

Ядра CUDA® на основі Ada забезпечують подвійну швидкість обробки для операцій з плаваючою точкою одинарної точності (FP32) порівняно з графічними процесорами попереднього покоління. Це забезпечує значне підвищення продуктивності для графічних робочих процесів, таких як розробка 3D-моделей, і робочих процесів обчислень, таких як симуляція робочого столу для автоматизованого проектування (CAE).

4. Розширене прискорення цифрового відео та комп'ютерного зору AI

Графічні процесори NVIDIA Ada Lovelace виводять прискорення відео та зору на новий рівень і виводять наш оптимізований стек AV1, створюючи широкий спектр нових можливостей для таких випадків використання, як перекодування відео, потокове передавання, відеоконференції, доповнена реальність (AR), віртуальна реальність (VR).) і vision AI. Завдяки до 2 разів більшій кількості декодерів і кодерів у поєднанні з відеоформатом AV1 графічні процесори Ada Lovelace можуть одночасно приймати до 3 разів більше відеопотоків, ніж попереднє покоління. Крім того, додаткові декодери JPEG ще більше прискорюють програми, які потребують комп'ютерного бачення.

5. Технологія Deep Learning Super Sampling 3.0 (DLSS 3)

DLSS 3[3] — це технологія, яка базується на застосуванні тензорних ядер четвертого покоління та нового оптичного прискорювача потоку (OFA). Результат застосування DLSS 3 – зменшення часу візуалізації при більшій швидкості отриманих за секунду (FPS).

6. Готовий до віртуалізації

Завдяки вдосконаленням нового покоління програмного забезпечення віртуального графічного процесора NVIDIA (vGPU) графічні процесори центрів обробки даних NVIDIA Ada Lovelace можуть забезпечити 1,7-кратне підвищення продуктивності для робочих процесів середнього та високого класу, що працюють на віртуальній робочій станції NVIDIA RTX (vWS), і прискорити продуктивність програм. працює на NVIDIA Virtual PC (vPC). Графічні процесори NVIDIA Ada Lovelace можуть підтримувати більшу щільність користувачів і використання ресурсів, а також забезпечують на 50 відсотків більше пам’яті GPU, ніж попереднє покоління.

ВИСНОВОК

Архітектура Ada Lovelace впроваджує інноваційні технології у сфері графічних обчислень. Це включає у себе покращені ядра RT для фотореалістичного рендерингу, тензорні ядра для прискорення інтелектуальних систем та Deep Learning Super Sampling (DLSS) 3.0 для підвищення продуктивності графіки в реальному часі. Крім того, підтримка віртуалізації та безпеки центру обробки даних робить цю архітектуру відповідною для різних застосувань, включаючи віртуальні робочі станції та корпоративні центри обробки даних. Загалом, Ada Lovelace пропонує значні покращення у продуктивності, ефективності та безпеці для широкого спектру застосувань у сфері обчислень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] NVIDIA ADA LOVELACE PROFESSIONAL GPU ARCHITECTURE. nVidia Product description, 2024. https://www.nvidia.com/ru-ru/geforce/ada-lovelace-architecture/

[2] NVIDIA ADA LOVELACE PROFESSIONAL GPU ARCHITECTURE Designed to deliver outstanding, professional graphics, AI, and compute performance. nVidia White Paper, 2024. https://images.nvidia.com/aem-dam/en-zz/Solutions/technologies/NVIDIA-ADA-GPU-PROVIZ-Architecture-Whitepaper_1.1.pdf

[3] DLSS 3

[4] https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/dlss3-ai-powered-neural-graphics-innovations/

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

УДК 004.383

Н.В. Бірюк, студент гр. ПО-11, к.т.н., ст. викл. Васильковська І.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАДАЧА ДОЙЧА ЯК ОСНОВА КВАНТОВИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Анотація. У публікації було розглянуто задачу Дойча з точки зору математичного аналізу. У результаті дослідження було доведено гіпотезу Дойча за допомогою хвильових властивостей світла. Була складена експериментальна установка найпростішого квантового комп'ютера для підтвердження теоретичних викладок.
Ключові слова: квантовий комп'ютер, задача Дойча, квантові обчислення.

ВСТУП

Розвиток обчислювальної техніки є передовим пріоритетом дослідження людства протягом останніх 100 років. Знаючи всі переваги електро-обчислювальної техніки, які базуються на обчисленні через зміну напруги, вчені не приділяли належної уваги альтернативному квантовому підходу, який побудований на унікальній взаємодії квантів світла.

Першовідкривачем цього напрямку вважають Річарда Фейнмана, який висунув гіпотезу про експонентну залежність обсягу пам'яті комп'ютера і часу розрахунку від розміру системи [1], що свідчить про більшу ефективність використання квантового підходу на відміну від класичного. Для підтвердження цього факту відомий британський фізик Девід Дойч розробив математичну модель квантового комп'ютера, яка отримала назву «Задача Дойча» та стала фундаментом сучасного уявлення про майбутнє квантових обчислень [2]. Метою даного дослідження є перевірка алгоритму Дойча задля обґрунтування можливості ефективного застосування квантового підходу на практиці. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання: дослідити переваги квантових обчислень; обґрунтувати можливість реалізації алгоритму Дойча на практиці.

ЗАДАЧА ДОЙЧА

При дослідженні концепції задачі Дойча було визначено, що головною перевагою квантових обчислень, на відміну від класичних, є суперпозиція фотона, яка використовується в двох випадках [2]:

- як початкове «кодування» вхідного значення для подальшої роботи з ним;
- як кінцеве «декодування» отриманого значення для перевірки достовірності моделі.

У квантових системах для введення сигналу в стан суперпозиції використовують так званий гейт Адамара (H). Дойч ввів невідому функцію, через котру проходять обидва значення та взаємодіють один з одним так, щоб на виході побачити співзалежність кубітів, основних одиниць квантової інформації. Цю функцію він назвав чорним ящиком (f), але так як еволюція квантової системи має бути унітарною, то в цьому чорному ящику має бути реалізований унітарний оператор U_f. Цей оператор з часом отримав назву «оракул». Він має наступний вигляд:

$$U_f|x\rangle|y\rangle = |x\rangle|y \oplus f(x)\rangle \quad (1)$$

Для обґрунтування залежності квантів необхідно з'ясувати при яких

значеннях функція f є константною або збалансованою. Дослідивши надану функцію f, можна прийти до висновку, що на виході вона має 2 константних та 2 збалансованих значення, а саме: 0, 1, x , $\bar{x}$.

При застосуванні математичного аналізу до кожного вищезазначеного випадку були отримані такі висновки [3, с. 47-50; 4]:

1. Якщо значення верхнього кубіту дорівнює |0⟩, то функція є константною.
2. Якщо значення верхнього кубіту дорівнює |1⟩, то функція є збалансованою (рис. 1).

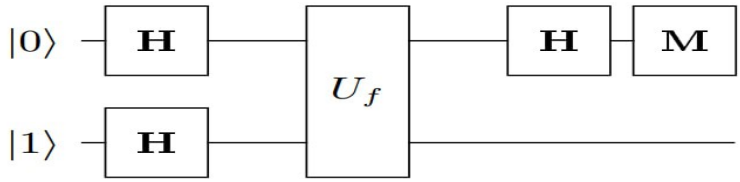


Рисунок 1. Алгоритм Дойча

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ДОЙЧА

Інтерферометр Маха-Цендера є основним оптичним пристроєм, який використовує хвильову природу світла для зміни та вимірювання квантових станів. Він складається зі світлоділильних кубиків, дзеркал і детекторів, розташованих у певній конфігурації для створення інтерференційних картин, які кодують інформацію про квантові стани, що проходять через нього. У межах даної роботи була реалізована найпростіша модель двохбітового квантового комп'ютера (рис. 2), побудована на базі інтерферометра Маха-Цендера. Завдяки своїй здатності реалізовувати квантові гейти та виконувати квантові операції над кубітами, керуючи фазою та поляризацією світла, що проходять через його плечі, інтерферометр може вводити в дію квантові логічні гейти, що дозволяє виконувати квантові алгоритми.

До складу інтерферометра входять: 1 – червоний лазер, 2 – світлоділильні кубики, 3 – металічні дзеркала, 4 – напівхвильова пластинка, поляризатор та екран спостереження.

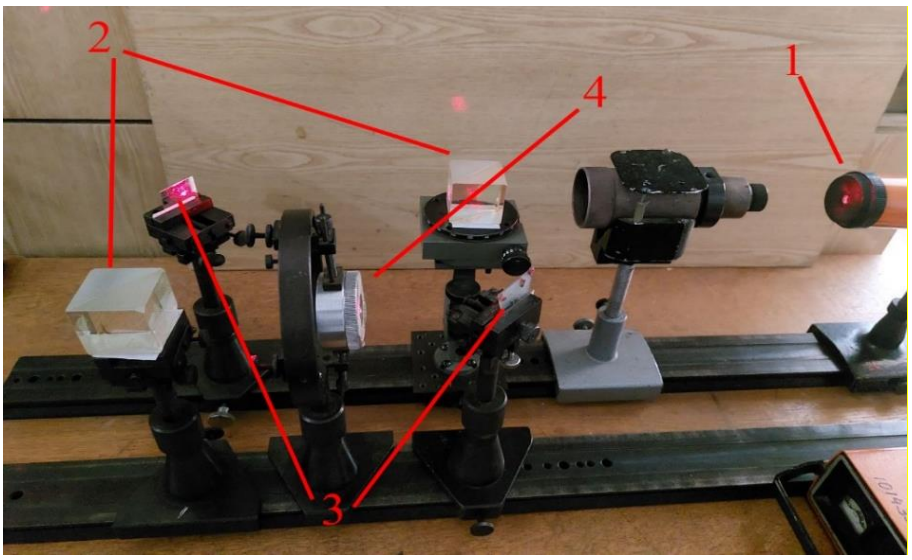


Рисунок 2. Фото установки для проведення досліду (поляризатор та екран спостережень на рисунку не показані)

Функцію оракула виконували 2 напівхвильові пластини. Задля пропуску фотонів з потрібною поляризацією використовувався лінійний поляризатор, розміщений під кутом - $\frac{\pi}{4}$ [5]. Перший кубіт був кодований напрямком шляху фотона (лівий та правий), а другий- поляризацією фотона відносно площини основи (горизонтальна та вертикальна).

Першим етапом шляху фотона було проходження через лінійний поляризатор. Кажучи мовою квантової фізики, було застосовано гейт Адамара на другий кубіт нашої системи. На виході було отримано такий стан кубіта:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle(|0\rangle\text{-}|1\rangle) \quad (2)$$

Після поляризатора промінь потрапляє на перший кубик, що тотожно застосуванню гейта Адамара до першого кубіта:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)(|0\rangle\text{-}|1\rangle) \quad (3)$$

Далі за алгоритмом Дойча кубіти мають пройти оракул. Як було сказано вище, на виході представлена система може видавати 4 значення: 0, 1, x та $\bar{x}$. Для кожного випадку існує відповідне розміщення напівхвильових пластин.

0 – на жодному з напрямків пластини не потрібні.

1 – на обох напрямах пластини присутні.

x – пластина присутня лише на лівому напрямку.

$\bar{x}$ - пластина присутня лише на правому напрямку.

Останнім етапом перед зняттям вимірів було проходження другого кубика. Він виконує роль гейта Адамара для першого кубіта.

Після довгого шляху пучка світла залишається налаштувати інтерференційну картину. Якщо вона має звичайний вигляд, то f – константа, бо обидва проміні затримуються однаково. Якщо в місцях максимуму інтерференції виникають тіні (промені знаходяться в противофазі на π), то f – є збалансованою.

Як видно на рисунку 3, отримана нами інтерференційна картина відповідає збалансованій функції, що є підтвердженням гіпотези Дойча.

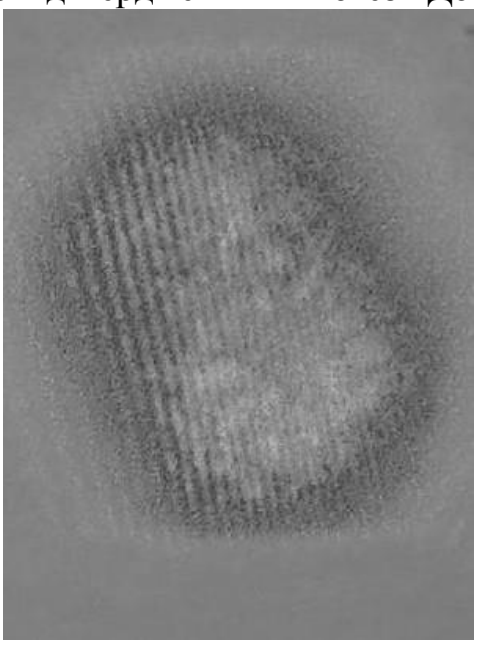


Рисунок 3. Інтерференційна картина

ВИСНОВКИ

У межах даного дослідження була успішно реалізована задача Дойча як основа квантових обчислень на основі інтерферометра Маха-Цендера. Як було показано, простота і універсальність даного інтерферометра роблять його перспективним інструментом для маніпулювання та вимірювання квантових станів, що відкриває нові шляхи для вдосконалення технологій квантових обчислень. Майбутні дослідження можуть бути зосереджені на оптимізації конфігурацій інтерферометрів для успішної реалізації квантових обчислень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Richard P. Feynman. Simulating Physics with Computers. International Journal of Theoretical Physics, Vol 21, Nos. 6/7, 1982. С. 467-488.
[2] D. Deutsch. Quantum theory, the Church-Turing principle, and the universal quantum computer. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 400, No. 1818 (Jul. 8, 1985). С. 97-117.
[3] Остапов С.Е., Добровольський Ю.Г. Квантова інформатика та квантові обчислення. Чернівці: ЧНУ, 2021. 99 с.
[4] Deutsch-Jozsa Algorithm. URL: https://siyuan-bruce.github.io/2021/11/01/Deutsch-Jozsa-Algorithm.html
[5] A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen. Physical Review 47, 777. URL: https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.47.777

Наук. керівник – к.т.н., ст. викладач Васильковська І.О.

УДК 004.891

А.О. Гавриленко, студентка гр. ПО-31мп, к.т.н., ст. викл. Мамута М.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУПРОВОДУ ОБ'ЄКТІВ ВБУДОВАНИМИ ЗАСОБАМИ OPENCV

Анотація. В даній статті розглядається ефективність супроводу об’єктів вбудованими засобами OpenCV, в тому числі стійкість методів до різних ефектів, таких як низькочастотна фільтрація, шум, морфологічні зміни
Ключові слова: супровід об’єктів, OpenCV, трекер, комп’ютерний зір

ВСТУП

Відстеження об'єктів є однією з основних задач комп’ютерного зору, яка знаходить застосування в різних сферах людської діяльності, допомагаючи вирішувати різноманітні завдання та покращувати якість послуг. Дана задача є багатогранною та має враховувати ряд факторів, таких як: мінливі умови освітлення, рух фону, тип об'єкта, наявність заслонів об'єкта, тощо.

Відстеження об'єктів - це завдання оцінки стану цільового об'єкта для кожного кадру у відеоряді. Об'єкт характеризується виключно його початковим станом на відео. Поточні підходи переважно характеризують сам стан за допомогою обмежувальної рамки. Однак це дає лише дуже грубе уявлення про ціль на зображенні.

Зручним та поширеним інструментом для відстеження об’єктів є використання ресурсів бібліотеки комп’ютерного зору з відкритим кодом – OpenCV (Open Source Computer Vision).

МЕТОДИ СУПРОВОДУ ОБ'ЄКТІВ

Для супроводу об’єктів бібліотека OpenCV пропонує цілий ряд методів, що містяться в модулях Tracker та Legacy.

Модуль Tracker містить у собі як деякі класичні алгоритми відстеження (MIL, KCF), так і більш сучасні та потужні (GOTURN, SCRT) [1, 2]. Більш ранні методи, такі як MOSSE, MediaFlow, Boosting і т.д. [3] наразі переміщені до модуля Legacy. Дані алгоритми були простими та швидкими, але менш точними та стійкими до різних факторів, таких як змінна освітлення або деформація об’єкта.

Аналізуючи тенденцію розвитку методів супроводу об’єктів, бачимо, що на сьогоднішній день методи на основі нейронних мереж все активніше витісняють класичні методи.

Наразі в модулі Tracker є 4 методи з використанням нейронних мереж, а саме:

1. GOTURN (Generic Object Tracking Using Local Transforms) – цей метод використовує згорткову нейронну мережу (CNN - convolutional neural network) для генерування шаблону завдяки якому відбувається відстеження об’єкту. Згорткові нейронні мережі (CNN) добре підходять для виявлення просторових характеристик в зображеннях та відео. CNN навчається на наборі даних зображень з мітками об'єктів – це означає, що для кожного об’єкту в кадрі існує клас, який попередньо був визначений.

2. DaSiamRPN (Distractor-aware Siamese Networks for Visual Object Tracking) - цей метод також використовує CNN для генерування шаблону, але він додає регіональну пропозицію мережі (RPN - region proposal network) для локалізації об'єкта в кадрі [3]. RPN використовуються для виявлення потенційних регіонів об'єктів на зображенні та генерування обмежувальних прямокутників навколо цих регіонів. Це допомагає загальній системі визначення об'єктів зосередитися на перспективних областях зображення та покращити ефективність. Метод навчається на наборі даних зображень з мітками об'єктів та їх розташуванням.

3. Nano - цей метод використовує легку згорткову мережу для генерування шаблону, тобто нейронна мережа має меншу кількість шарів та параметрів, для того, щоб зменшити обчислювальну складність та пам'ять, необхідні для її роботи. Метод навчається на великому наборі даних зображень з різними об'єктами. Загалом, Nano є перспективним методом супроводу об'єктів для застосунків, де важливі швидкість, ефективність та точність, але варто зазначити що Nano є порівняно новим методом, і його дослідження та вдосконалення все ще тривають.

4. ViTT (Vision Transformer Tracker) - цей метод використовує трансформер, тип нейронної мережі, яка добре підходить для завдань послідовного моделювання [4]. Ці завдання ґрунтуються на розумінні того, як змінюються об'єкти та сцени з часом, що дозволяє комп'ютерним системам краще інтерпретувати візуальну інформацію. Метод навчається на наборі даних зображень з мітками об'єктів.

Методи, засновані на нейронних мережах, мають кілька переваг. Вони забезпечують високу точність, оскільки можуть навчатися на великих наборах даних і виявляти складні шаблони для точного відстеження об'єктів. Деякі методи, наприклад, Nano, можуть працювати в режимі реального часу завдяки своїй легкій архітектурі. Крім того, нейронні мережі є універсальними і можуть бути адаптовані до різних завдань відстеження об'єктів, включаючи відстеження одного або декількох об'єктів, а також відстеження деформованих об'єктів [5].

Аналізуючи архітектуру методів з використанням нейронних мереж, бачимо перехід від згорткових нейронних мереж для виділення релевантних ознак до трансформерів.

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ СУПРОВОДУ ОБ’ЄКТІВ

В роботі було проаналізовано ефективність 7 найбільш релевантних вбудованих методів супроводу бібліотеки OpenCV, які містяться в модулі Tracker.

Для аналізу та порівняння було використане таке програмне забезпечення:

- Версія Python 3.11 (не найновіша, але найбільш стабільна версія)
- Версія OpenCV 4.9.0 (найактуальніша версія)
- Версія TensorFlow 2.9.1 (бібліотека машинного навчання, яка використовується для навчання нейронних мереж у методах на їх основі: GOTURN, DaSiamRPN)

Порівняльна характеристика результатів наведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльна таблиця методів супроводу об'єктів модуля Tracker

Метод	***Точність***	***Швидкість***	***Чутливість до шуму***	***Чутливість до оклюзії***	***Складність реалізації***
MIL	Висока	Середня	Середня	Висока	Середня
KCF	Середня	Висока	Висока	Висока	Низька
CSRT	Висока	Швидка	Середня	Висока	Низька
GOTURN	Висока	Швидка	Середня	Висока	Середня
DaSiamRPN	Висока	Швидка	Середня	Висока	Висока
Nano	Середня	Швидка	Висока	Висока	Середня
ViTT	Висока	Середня	Низька	Висока	Висока

Результати показують, що новітні алгоритми здебільшого є більш складними, але це надає їм змогу бути більш точними та стійкими до мінливих умов супроводу.

ВИСНОВКИ

У сфері комп'ютерного зору супроводження об'єктів є важливим завданням, яке використовується в різних програмах, таких як відстеження відео, розпізнавання людей та автономне керування. Методи супроводу об'єктів ставлять собі за мету відстеження розташування та стану об'єктів у послідовності зображень або відео.

Існує багато методів супроводу об'єктів, кожен з яких ґрунтується на різних принципах та має свої переваги та недоліки. Вибір найкращого методу для завдання залежить від конкретних потреб, таких як точність, швидкість, стійкість до шуму та оклюзії, а також складність реалізації та використання, але саме методи, що використовують нейронні мережі є сучасними та гнучкими, що дає їм змогу постійно самовдосконалюватись.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Документація OpenCV — cv::legacy::Tracker Class Reference — Режим доступа: http://pureer.cn/doc/opencv4.8.0/db/dfe/classcv_1_1legacy_1_1Tracker.html#details — 28.06.2023 р.

[2] Matthieu Paul, Martin Danelljan, Christoph Mayer, and Luc Van Gool. Robust Visual Tracking by Segmentation

[3] Документація OpenCV — cv::Tracker Class Reference — Режим доступа: https://docs.opencv.org/4.x/d0/d0a/classcv_1_1Tracker.html — 03.05.2024 р.

[4] Tim Meinhardt, Alexander Kirillov, Laura Leal-Taixe, Christoph Feichtenhofer. TrackFormer: Multi-Object Tracking with Transformers

[5] Seyed Mojtaba Marvasti-Zadeh, Li Cheng, Hossein Ghanei-Yakhdan, Shohreh Kasaei. Deep Learning for Visual Tracking: A Comprehensive Survey

Наук. керівник – к.т.н., ст. викл. Мамута М.С.

УДК 621.384.3

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

ЕФЕКТИВНІСТЬ САМОКАЛІБРУВАННЯ В ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ БПЛА

Анотація. У даній роботі аналізується ефективність самокалібрування тепловізійних систем безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Основний акцент зроблено на вивченні методів самокалібрування, які дозволяють автоматично коригувати параметри системи для покращення якості та точності зображень. Проаналізовано модуляційну передавальну функцію, ключові алгоритми оптимізації, зокрема метод градієнтного спуску та ADAM, а також застосування референтних точок для калібрування.

Ключові слова: обробка зображень, самокалібрування, модуляційна передавальна функція, метод градієнтного спуску, оптимізація ADAM, калібрування температурної картографії.

ВСТУП

У дослідженні сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та їх застосуванні, одним з ключових аспектів є здатність до точного спостереження за об’єктами за допомогою тепловізійних систем. Вони відіграють важливу роль у різних сферах, від моніторингу довкілля до сільськогосподарської діяльності, завдяки своїй здатності забезпечувати детальні зображення навіть в умовах низької видимості. Однак, точність та надійність тепловізійних зображень можуть бути під впливом ряду факторів, таких як зміни погодних умов та технічні обмеження, що вимагає вдосконалених методів калібрування. У цьому контексті, самокалібрування тепловізійних систем відіграє критичну роль, дозволяючи автоматично корегувати параметри системи для забезпечення високої роздільної здатності зображення.

МЕТА СТАТТІ

Ця робота спрямований на оцінку існуючих методів самокалібрування тепловізійних систем у БПЛА з метою визначення їхньої ефективності та точності. За результатами аналізу, буде розглянуто рекомендації щодо застосування та подальшого розвитку методів самокалібрування для підвищення ефективності тепловізійних систем БПЛА в реальних умовах.

ОСНОВИ МОДУЛЯЦІЙНОЇ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ТА ЇЇ ЗНАЧЕННЯ В ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ

Модуляційна передавальна функція (МПФ) служить важливим інструментом для оцінки здатності тепловізійних систем точно передавати контраст об'єктів у залежності від просторової частоти. Вивчення МПФ в тепловізійних системах спостереження дозволяє визначати, наскільки ефективно система може відображати деталі та текстури зображення. МПФ системи, позначена як $M_S(\nu_x)$, виражається як добуток МПФ її компонентів:

$$M_s(\nu_x) = M_o(\nu_x) M_{Ds}(\nu_x) M_{Dt}(t) M_{El}(t) M_d(\nu_x) \qquad (1)$$

де $M_o(\nu_x)$, $M_{Ds}(\nu_x) M_{Dt}(t), M_{El}(t) M_d(\nu_x)$ – МПФ об’єктива, мікро-болометричної матриці (МБМ), електронного блоку і дисплея відповідно [1].

ЗБІР ДАНИХ

Теплові зображення були зібрані за допомогою дрона DJI Matrice 300 RTK з мультикамерним сенсором Zenmuse H20T, що включає тепловізійну камеру. Знімки були зроблені з висоти 50 метрів з боковим і фронтальним перекриттям 80%. Використовувалась емісійна величина 0,95, встановлена на основі лабораторних експериментів у контрольованих умовах з використанням тієї ж камери [2].

АЛГОРИТМ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

Сучасні методи самокалібрування в тепловізійних системах безпілотних літальних апаратів зосереджені на мінімізації впливу негативних явищ, таких як неточності вимірювань, що виникають досить часто. Однією з ключових технологій в цьому процесі є градієнтний спуск, метод оптимізації, що дозволяє ітеративно оновлювати параметри системи в напрямку найкрутішого спуску функції витрат (cost function). Алгоритм продовжує ітерації, доки функція витрат не досягне мінімуму або не буде виконано критерій зупинки.

Завдяки популярності машинного навчання, метод градієнтного спуску став широко доступним, особливо з розвитком бібліотек програмних середовищ, що прискорюють обчислення за допомогою графічних процесорів (GPU). У цій роботі застосовується метод оптимізації ADAM, який використовується для доопрацювання тепловізійних зображень з метою зниження негативного впливу явищ, що спотворюють дані в неохолоджуваних тепловізійних камерах, без використання нетипового обладнання, такого як стандартні чорні тіла або спеціалізовані прилади для БПЛА, та без доступу до даних датчиків температури.

Основна мета полягає у розробці методу пост-обробки теплових зображень, який зменшує вплив погодних умов, зберігаючи при цьому високу точність та якість даних (див. рис. 1) [3].

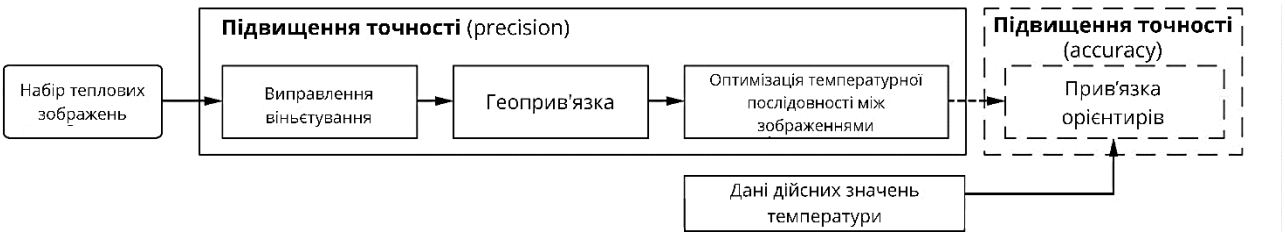


Рисунок 1. Блок-схема запропонованого методу самокалібрування, яка складається з кроків підвищення точності (суцільний прямокутник) і необов'язкового кроку підвищення точності (пунктирний прямокутник).

Результати самокалібрування:

1. Виправлення віньєтування: корекція віньєт-ефекту була проведена за методом "одного зображення", де алгоритм моделює корекцію віньєтування тільки на основі оброблюваного зображення. Алгоритм був перенесений з MATLAB на Python і адаптований для роботи з тепловізійними

зображеннями, які можуть мати негативні значення температури. Використовуються середні температури центральної частини зображення перед корекцією як референтний рівень для зображення після виправлення віньєтування [4].

2. Геоприв’язка проводилася з використанням UTM координат, базуючись на EXIF метаданих знімків. Оптимізація геоприв'язки виконувалася методом градієнтного спуску, що дозволяє мінімізувати помилки у визначенні географічного положення знімків та підвищити точність. Формула для оптимізації геоприв'язки представлена як:

$$\lambda = \lambda_R + 10^{-6}\lambda_A \,, \tag{2}$$

де λ_R (див. формулу 3) є середньою евклідовою відстанню між координатами кутів зображення, отриманими з відновленої та вихідної геоприв'язки, а λ_A (див. формулу 4) відображає розбіжності географічних центрів зображень.

$$\lambda_R = \frac{1}{N_P}\sum_{i=1}^{N_P}\frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4}\left\| p_{1\text{го},i,j} - p_{1\text{го},i,j} \right\| \tag{3}$$

$$\lambda_A = \frac{1}{N_I}\sum_{i=1}^{N_I}\left\| p_i - p_i \right\| \tag{4}$$

3. Наступний етап, оптимізація температурної послідовності між зображеннями, включає вирівнювання температурних показників між перекриваючими зображеннями, що зменшує середнє відхилення температур в однакових зонах, збережених на різних знімках. Використовується метод градієнтного спуску для точної корекції температурного зміщення.

4. Останнім кроком є калібрування температурної картографії за допомогою референтних точок на землі, що дозволяє мінімізувати систематичні помилки у вимірах. Це досягається шляхом відштовхування від середніх температур, виміряних у вибраних точках [2].

ЗАСТОСУВАННЯ САМОКАЛІБРУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМ БПЛА

Інтеграція та оптимізація вищезазначених алгоритмів дозволяє значно покращити точність та надійність тепловізійних систем в БПЛА, забезпечуючи високу якість зображення навіть у складних умовах. Використання передових методів самокалібрування сприяє автоматичному коригуванню параметрів системи, що є ключовим для ефективної роботи в реальних умовах експлуатації.

ВИСНОВОК

Застосування методів самокалібрування в тепловізійних системах БПЛА демонструє значний потенціал для підвищення точності зображень. Інтеграція градієнтного спуску та оптимізація МПФ в рамках обробки даних дозволяють ефективно коригувати параметри системи, знижуючи вплив віньєтування, неточності геоприв'язки, та розбіжностей температурних показників між знімками. Оптимізація МПФ сприяє кращій передачі контрастності об'єктів на зображеннях, забезпечуючи високу роздільну здатність та якість візуалізації деталей. Використання цих методів може значно підвищити ефективність спостереження в реальних умовах, що робить тепловізійні системи БПЛА незамінними інструментами в різноманітних застосуваннях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] КОЛОБРОДОВ, Валентин Георгійович, et al. *Проектування цифрових когерентних оптичних спектроаналізаторів. 2019.*

[2] SZOSTAK, Radosław, et al. Self-Calibration of UAV Thermal Imagery Using Gradient Descent Algorithm. *Drones, 2023, 7.11: 683.*

[3] KELLY, Julia, et al. Challenges and best practices for deriving temperature data from an uncalibrated UAV thermal infrared camera. *Remote Sensing, 2019, 11.5: 567.*

[4] Vignetting Correction / *Github* — Режим доступу: www.URL:https://github.com/GUOYI1/Vignetting_corrector — 24.04.2024 г.

УДК 681.7.067.2

М. І. Залізняк, студент гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Боровицький В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КЛАСИФІКАЦІЯ ІНТЕРФЕЙСІВ РІДИННО-КРИСТАЛІЧНИХ ДИСПЛЕЇВ

Анотація. Ця стаття присвячена класифікації інтерфейсів рідинно-кристалічних дисплеїв (LCD), зокрема паралельних і послідовних, таких як I2C та SPI. Пояснюються принципи роботи кожного типу інтерфейсу, їхні переваги та недоліки. Окрім цього, в статті розглядаються інші рідкісні або спеціалізовані інтерфейси для LCD дисплеїв. Автор проводять систематизацію інтерфейсів на основі їхніх характеристик та надають рекомендації для вибору найбільш підходящого інтерфейсу для конкретних застосувань. Ця стаття буде корисною для розробників, які працюють з LCD дисплеями та шукають оптимальний спосіб взаємодії з ними.

Ключові слова: LCD дисплеї, інтерфейси, I2C, SPI, Вибір інтерфейсу.

ВСТУП

Рідинно-кристалічні дисплеї (LCD) є одними з найбільш поширених типів дисплеїв у сучасних електронних пристроях, від смартфонів до медичного обладнання. Однак, для взаємодії з ними необхідні відповідні інтерфейси, які відповідають за передачу даних і керування дисплеєм. Серед різноманіття доступних інтерфейсів для LCD важливо вибрати той, який найкраще підходить для конкретного застосування, враховуючи швидкість передачі даних, складність інтеграції та інші фактори.

Ця стаття присвячена класифікації інтерфейсів рідинно-кристалічних дисплеїв з метою надання зрозумілого огляду різних типів і їхніх характеристик. Ми розглянемо паралельні та послідовні інтерфейси, такі як I2C та SPI, а також зупинимось на рідкісних або спеціалізованих варіантах інтерфейсів. Ви отримаєте можливість оцінити переваги та обмеження кожного типу інтерфейсу, а також зрозуміти, який саме інтерфейс найкраще підходить для вашого конкретного проекту чи застосування.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Мета цієї статті - систематизувати і класифікувати різні типи інтерфейсів рідинно-кристалічних дисплеїв (LCD), зокрема паралельні і послідовні, такі як I2C та SPI, для надання чіткого огляду їхніх переваг та обмежень. Дослідження покликане допомогти вибрати найбільш підходящий інтерфейс для конкретного застосування.

Для досягнення цієї мети, в статті буде проведено аналіз паралельних і послідовних інтерфейсів, включаючи популярні протоколи такі як I2C та SPI, а також розглянуті рідкісні або спеціалізовані варіації інтерфейсів. Визначені критерії класифікації та порівняльний аналіз допоможуть читачам зрозуміти переваги і обмеження кожного типу інтерфейсу та обрати оптимальний варіант для їхнього конкретного використання.

КЛАСИФІКАЦІЯ ДИСПЛЕЇВ

- **Огляд інтерфейсів LCD**

Рідинно-кристалічні дисплеї (LCD) є ключовою технологією в багатьох сучасних електронних пристроях. Щоб забезпечити ефективну взаємодію з LCD, використовуються спеціалізовані інтерфейси, які відповідають за передачу

даних та керування дисплеєм. Ось детальний огляд основних типів інтерфейсів для LCD:

- **Паралельні інтерфейси**

Паралельні інтерфейси використовують кілька паралельних каналів для передачі даних та керування між мікроконтролером і LCD дисплеєм. Ці інтерфейси зазвичай використовуються в застарілих або великих системах, де доступний достатній обсяг виводів. Вони забезпечують високу швидкість передачі даних і мають великий потенціал для забезпечення високоякісного відображення.

Проте, паралельні інтерфейси можуть вимагати більшої кількості виводів на мікроконтролері, що може призвести до складнощів у проектуванні систем з обмеженим числом доступних виводів.

- **Послідовні інтерфейси**

Послідовні інтерфейси, такі як Inter-Integrated Circuit (I2C) та Serial Peripheral Interface (SPI), є більш сучасними та широко використовуваними в сучасних електронних пристроях. I2C використовує два провідника для передачі даних та керування з низькою швидкістю, тоді як SPI забезпечує високошвидкісну передачу даних через два лінійні канали.

Їхня простота та зручність використання роблять їх популярними серед розробників. Додатково, вони мають можливість працювати з обмеженим числом виводів, що робить їх ідеальними для пристроїв з обмеженими ресурсами.

- **Інші типи інтерфейсів**

Окрім основних паралельних і послідовних інтерфейсів, існують інші типи інтерфейсів, які можуть бути використані для підключення рідинно-кристалічних дисплеїв (LCD) до електронних пристроїв. Ось детальніше про деякі з них:

1. Universal Serial Bus (USB): USB є одним з найбільш поширених інтерфейсів у сучасних електронних пристроях. Використання USB для підключення LCD дисплеїв може забезпечити широкі можливості управління та високу швидкість передачі даних. USB дозволяє забезпечити велику кількість функцій та може бути зручним в застосуваннях, де потрібно взаємодія з комп'ютером або іншими зовнішніми пристроями.
2. Display Serial Interface (DSI): DSI - це інтерфейс, розроблений спеціально для підключення дисплеїв до мікроконтролерів або мобільних пристроїв. Він забезпечує високу швидкість передачі даних і дозволяє керувати різними аспектами відображення на LCD дисплеї.
3. Serial Display Control (SDC): SDC є ще одним типом інтерфейсу, який може бути використаний для управління LCD дисплеями. Він зазвичай використовується в спеціалізованих застосуваннях, де потрібна проста інтерфейсна взаємодія з дисплеєм.

- **Класифікація інтерфейсів**

Для кращого розуміння різних типів інтерфейсів LCD, можна класифікувати їх на основі кількох параметрів, таких як швидкість передачі даних, кількість виводів та ступінь складності інтеграції. Це допомагає розробникам обрати найбільш підходящий інтерфейс для їхнього конкретного проекту чи застосування.

ВИСНОВОК

У ході виконання даної роботи було проведено огляд та класифікація різних типів інтерфейсів рідинно-кристалічних дисплеїв (LCD), включаючи паралельні, послідовні та інші рідкісні або спеціалізовані варіанти. ивчення різних типів інтерфейсів дозволило нам отримати глибше розуміння їхніх особливостей, переваг та обмежень.

Паралельні інтерфейси відзначаються високою швидкістю передачі даних, що робить їх ідеальними для вимогливих додатків, але вони можуть вимагати більшої кількості виводів на мікроконтролері. З іншого боку, послідовні інтерфейси, такі як I2C та SPI, є більш гнучкими та зручними для використання, особливо в пристроях з обмеженими ресурсами.

Також були розглянуті інші типи інтерфейсів, такі як USB та DSI, які можуть бути використані для специфічних вимог щодо швидкості передачі даних або інтерфейсу.

Класифікація інтерфейсів на основі різних параметрів, таких як тип з'єднання, швидкість передачі та кількість виводів, допомагає розробникам обрати найбільш підходящий інтерфейс для їхнього конкретного застосування.

Узагальнюючи, вибір інтерфейсу для підключення LCD дисплея є важливим етапом при розробці електронного пристрою. Належне розуміння різних типів інтерфейсів та їх характеристик дозволяє зробити оптимальний вибір і підвищити ефективність та функціональність пристрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Smith, John. "Understanding LCD Interfaces." Electronics Journal, vol. 23, no. 2, 2023, pp. 45-58.
[2] Johnson, Emily. "Comparative Analysis of Parallel and Serial LCD Interfaces." Journal of Display Technology, vol. 15, no. 4, 2022, pp. 112-125.
[3] Brown, David. "Overview of LCD Interface Technologies." Proceedings of the International Conference on Electronics Engineering, 2023, pp. 78-85.

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

УДК 681.7.067.2

Д.М. Лавренюк, студентка гр. ПО-31мп, к.т.н., доц. Сокуренко В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АБЕРАЦІЙНИЙ СИНТЕЗ СВІТЛОСИЛЬНОГО ШЕСТИЛІНЗОВОГО SWIR-ОБ'ЄКТИВА З ФІКСОВАНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Анотація. У цій роботі було розглянуто процес та результати параметричного синтезу шестилінзової оптичної системи об'єктива, фіксована фокусна відстань якого становить 75 мм, відносний отвір – 1:1,4, а кут поля зору – 15,5°. Об'єктив розроблений для роботи в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль 0,9...0,23 мкм (SWIR). Осьова відстань від першої поверхні об'єктива до площини зображень не перевищує 100 мм. Для знаходження конструктивних параметрів такого об'єктива був застосований модифікований алгоритм диференційної еволюції. Проведений аберраційний аналіз синтезованого об'єктива та здійснене порівняння його результатів з комерційним зразком (аналогом) вказують на високу якість зображення та конкурентоздатність отриманого варіанта.

Ключові слова: короткохвильовий інфрачервоний діапазон, short-wave infrared (SWIR), оптична система, параметричний синтез, модуляційна передавальна функція (МПФ), дисторсія, глобальна оптимізація, алгоритм.

ВСТУП

У сьогоденному світі, де з кожним роком зростає потреба у світлосильних інфрачервоних оптичних системах [1], дуже важливо забезпечувати високу якість зображення, утвореного ними. Це стосується як цивільних, промислових застосувань, так і задач військового призначення [2].

Умови ринкової конкуренції змушують до пошуку шляхів пришвидшення та покращення результатів розрахунку оптичних систем для отримання нових високоякісних рішень. Так, наприклад, під час проєктування інфрачервоних оптичних систем спостереження почали все більше застосовуватися різні алгоритми глобальної оптимізації [3]. В даній роботі на чисельному прикладі перевірено дієздатність та результативність застосування наявного автоматизованого засобу проєктування під час розроблення нових (оригінальних) оптичних систем об'єктивів для короткохвильового інфрачервоного діапазону (SWIR) довжин хвиль.

ЗАСТОСОВАНИЙ ПІДХІД ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

Для розроблення оптичної системи об'єктива з фіксованими параметрами у даному дослідженні було використане програмне забезпечення з автоматизованого проєктування оптичних систем PODIL. Реалізований в ньому спосіб автоматичного розрахунку, який базується використанні модифікованого варіанту диференційної еволюції, вже не раз дозволяв успішно здійснити параметричного синтезу різних типів оптичних систем з високою якістю зображення [4-6].

Як приклад для чисельного моделювання була поставлена задача здійснити параметричний синтез світлосильного **SWIR**-об'єктива з фокусною відстанню 75 мм та відносним отвором 1:1,4. Об'єктив призначений для функціонування у короткохвильовому інфрачервоному діапазоні (0,9…2,3 мкм) з основною довжиною хвилі 1,4 мкм. Кут поля зору дорівнює 15,5°, а діаметр вхідної зіниці становить 53,6 мм.

Комерційним аналогом розглянутого об'єктива є шестилінзовий зразок SWIR Lens 75mm F1.4 компанії Optec [7]. Заявлені графіки його

поліхроматичних модуляційних передавальних функцій (МПФ) для різних предметних точок показані на рис. 1. На просторовій частоті 15 ліній/мм значення поліхроматичних МПФ по всьому полю змінюються в межах орієнтовно від 18% до 28%, а відносна дисторсія становить приблизно 0,2%.

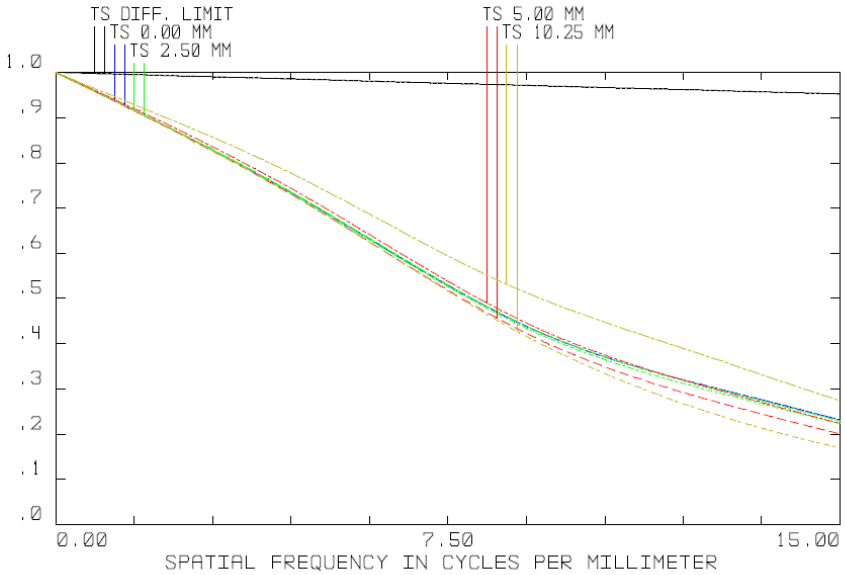


Рисунок 1. Значення поліхроматичних МПФ для різних точок поля зору комерційного об’єктива Optec SWIR Lens 75mm F1.4 [7]

На етапі підготовки до параметричного синтезу стартова оптична система об’єктива задавалася у формі довільних шести плоско-паралельних пластин. Кут поля зору був встановлений рівним 15,5°, а спектральний діапазон – 0,9…2,3 мкм. Для фіксації значення задньої фокусної відстані на останній лінзовій поверхні був встановлений регулятор, який забезпечував стале значення заднього апертурного кута. На першому (основному) етапі розрахунку встановлювалася оціночна функція для мінімізації середньоквадратичних розмірів поліхроматичних світлових плям для декількох точок поля зору, а на другому етапі – для мінімізації поліхроматичних МПФ на просторовій частоті 20 ліній/мм.

Під час генерування оціночної функції були встановлені такі конструктивні обмеження: загальна осьова довжина всієї системи – не більше 100 мм, задній фокальний відрізок – не менше 30 мм, допустиме значення відносної дисторсії по модулю – не більше 0,2%, допустимі значення осьових товщин лінз – від 2 мм до 9 мм, товщина лінз на краю – не більше 1,5 мм, а товщина повітряних проміжків на краю – не більше 1 мм. Марки скла для всіх лінз знаходилися програмою PODIL автоматично з обраного каталогу SCHOTT.

На рис. 2 представлена синтезована вищезгаданим алгоритмом оптична схема **SWIR**-об’єктива. Загальна осьова відстань від першої поверхні до площини зображення дорівнює 96,7 мм. Середньоквадратичні *значення радіусів світлових плям, оцінені* в широкому спектральному діапазоні (0,9…2,3 мкм), дорівнюють 22 мкм на оптичні осі та 30 мкм на краю зображення.

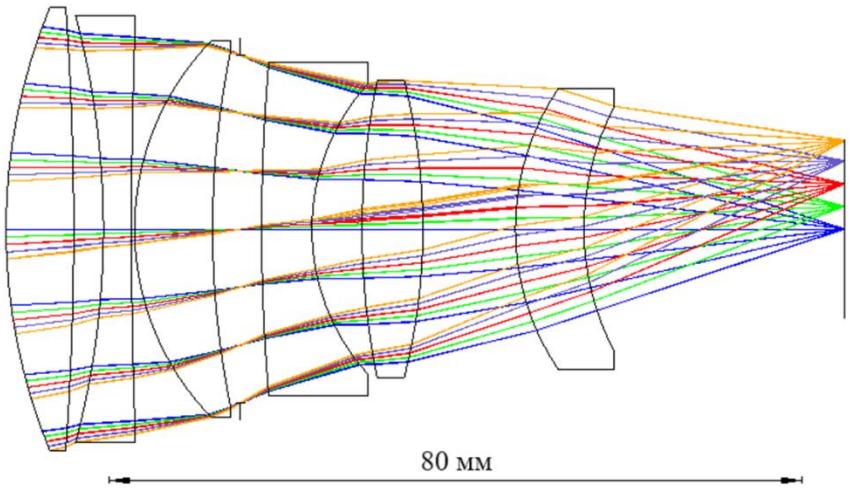


Рисунок 2. Оптична схема з ходом променів синтезованого об’єктива для SWIR діапазону з задньою фокусною відстанню 75 мм та відносним отвором 1:1,4

Представлені на рис. 3 графіки поліхроматичних МПФ отриманої оптичної системи свідчать, що на просторовій частоті 20 ліній/мм значення контрасту по всьому полю зору є не меншими за 42%, що суттєво перевищує показники комерційного зразка [7]. Відносна дисторсія згенерованого об’єктива становить 0,14%.

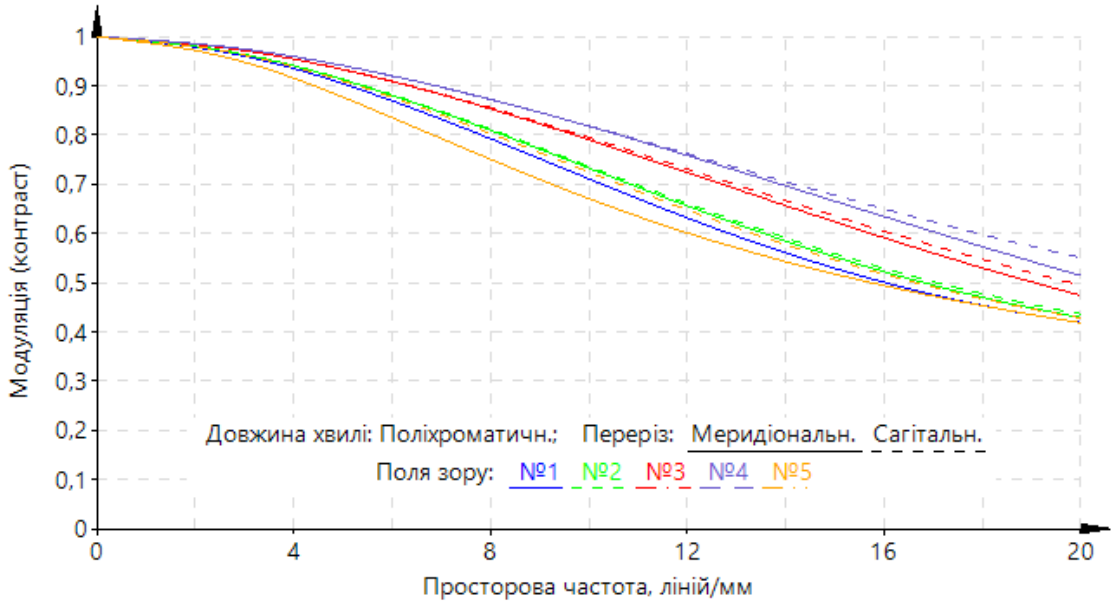


Рисунок 3. Значення поліхроматичних МПФ синтезованого об’єктива для SWIR діапазону. Поля зору №1…5 відповідають предметним точкам з кутовими координатами 0°; 2°; 4°; 6° і 7,75°, відповідно

Як видно з наведених результатів, при ідентичних функціональних параметрах (задній фокусній відстані, відносному отворі, куті поля зору), загальному осьовому розмірі системи та кількості використаних лінз синтезований варіант об’єктива не поступається розглянутому комерційному аналогу [7] та є конкурентоздатним за своєю якістю зображення.

ВИСНОВКИ

Результати параметричного синтезу світлосильного об’єктива для короткохвильового інфрачервоного діапазону (SWIR) підтверджують результативність автоматизованого методу проєктування, що базується на модифікованому алгоритмі диференційної еволюції.

Проведений аберраційний аналіз параметрів і характеристик отриманої оптичної системи об’єктива свідчить про її переваги та конкурентоздатність в порівнянні з відомим комерційним рішенням, що має аналогічні параметри.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Cunningham, Colin. Future technologies for optical and infrared telescopes and instruments. Experimental Astronomy, 2009, 26.1: 179-199.

[2] See Beyond Visible // Hamamatsu Photonics K.K. and its affiliates – Режим доступу до ресурсу: https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/static/hc/resources/webinars/SWIR_intro_V103.pdf.

[3] Höschel, K., Lakshminarayanan, V. Genetic algorithms for lens design: a review. J Opt 48, 134–144 (2019). – Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1007/s12596-018-0497-3.

[4] Сокуренко В. М., Смажко І. О. Автоматизований розрахунок оптичної системи SWIR-об’єктива // Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. – Хмельницький, 2019. – №6 (279). – с. 202-205. – Режим доступу: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2019/2019_6/(279)%202019-6-t.pdf

[5] Лавренюк Д. М., Сокуренко В. М. Автоматизований розрахунок проєкційного об’єктива для короткохвильового інфрачервоного діапазону // Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Погляд у майбутнє приладобудування”. Київ, НТУУ “КПІ”. 16-17 травня. – 2023. – с. 56-59.

[6] Sokurenko, V. (2024). Automated Design of Multi-element Optical Systems for Various Purposes. 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, pp. 85–115, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44347-3_3.

[7] Optec SWIR Lens 75mm F1.4 FOV 15.5 deg [Електронний ресурс] // Edmund Optics – Режим доступу: https://ir.optec.eu/pdf/C0415.pdf.

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

УДК 681.7.067.2

Ю. М. Слінченко, студент гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Чиж І.Г
КПІ ім. ІгоряСікорського

ПАНОРАМНИЙ ПЕРИСКОП-ТЕПЛОВІЗОР

Аннотація. У статті розглядається питання створення тепловізійного панорамного перископу. Зроблено огляд оптичних систем панорамних телескопів для видимого та інфрачервоного діапазону спектру. Вказано на недоліки прототипів. Запропоновано систему панорамного тепловізійного перископу з лінзовим об'єктивом та поворотною платформою, на якій встановлено мікробалометричну матрицю. Поворот головного дзеркала і платформи з матрицею пропонується здійснювати синхронно за допомогою зубчатого механізму і крокового двигуна з двостороннім валом.

Ключові слова: панорамний перископ-тепловізор, перископ без призми Дове, усунення обертання зображення.

ВСТУП

Відомі на цей час пристрої типу перископів для спостережень із укриття функціонують переважно у видимому спектрі при денній яскравості оточуючого середовища, а також в сутінках при низькому рівні природньої освітленості, яка має місце від розсіяного хмарами світла чи від зоряного неба [3]. Проте існує велика потреба у перископах, що повинні працювати від власного теплового випромінення людей, тварин, технічних засобів та інших об'єктів. Такі перископи за своєю суттю є тепловізорами, що забезпечують безпечне спостереження із укриття. Крім того вони повинні забезпечувати круговий (панорамний) огляд оточуючого середовища, мати перископічність не менш 0.7 – 1.0 м, мати невелику вагу і габарити, мінімально можливу собівартість, та забезпечувати при цьому дистанційну передачу відео інформації через мобільний зв'язок.

Розробка такого панорамного перископу-тепловізора є задачею, спрямованою на підвищення ефективності використання вказаного приладу в умовах бойового використання, чим визначається її актуальність і практична важливість.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Задача цієї роботи – огляд джерел, присвячених вказаній темі, і на цій основі пропонування нової системи перископу, що дає можливість забезпечити вимоги, перелічені у вступі.

ОГЛЯД ПРОТОТИПІВ

На рис.1 показана оптична система класичного візуального панорамного перископу, яка закладена в переважну кількість моделей цього приладу [1]. Огляд оточуючого простору із укриття досягається використанням призми типу АР-90, встановленої перед об'єктивом зорової труби (поз. 3 - 6) з вертикальним положенням її оптичної осі. Призма АкР-90, поз.4, повертає оптичну вісь перископу в горизонтальне положення для зручності візуальних спостережень. При обертанні першої головної призми навколо оптичної осі зорової труби в межах 360о, чим забезпечується панорамний огляд зовнішнього оточення, зображення, сформоване об'єктивом, що спостерігається через окуляр, поз. 5,6 , буде також обертатися навколо оптичної осі на 360о, якщо між об'єктивом і

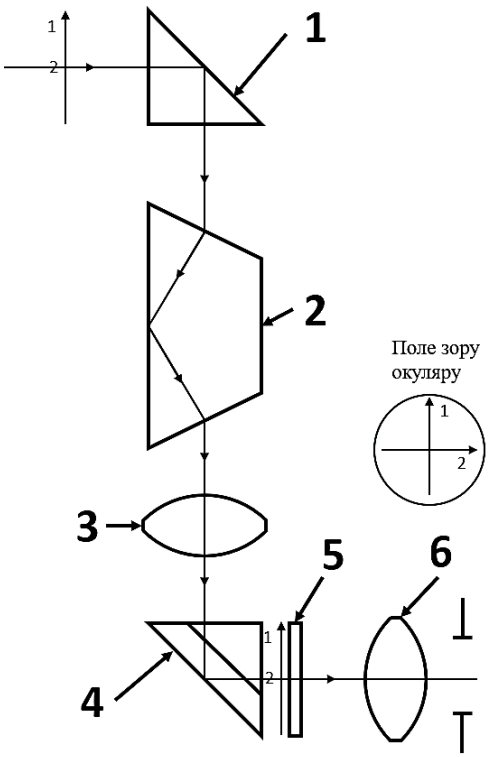


Рис.1

окуляром не буде розташована призма Дове, поз.2.

Для стабілізації зображення призма Дове повертається за допомогою спеціального механізму в зворотному напрямку до напрямку повороту головної призми, але на кут наполовину менший, ніж кут повороту головної призми.

На жаль оптичну систему, показану на рис.1, практично неможливо реалізувати для роботи в далекому інфрачервоному діапазоні через необхідність виготовлення відносно великої за розмірами призми Дове із звичайних для тепловізійної оптики оптичних матеріалів типу Ge, ZnSe, Si , внаслідок габаритних обмежень розмірів цих штучних кристалів.

Огляд інших інформаційних джерел показав, що найбільш наближеною до класичної системи панорамного перископу є та система, показана на рис.2, [2]. В цій цій системі верхня призма замінена металевим дзеркалом поз.1. Лінзовий об'єктив також замінено дзеркальною телескопічною системою Мерсена, поз.2,3. Призму Дове виконує система дзеркал, поз.4-6, яка виготовлена моноблоком, що дозволяє повертати її навколо оптичної осі протилежно повороту верхнього дзеркалу на кут, рівний половині кута повороту цього дзеркала. Лінзовий об'єктив, поз. 8, формує інфрачервоне зображення на матричному фотоприймачі поз.9.

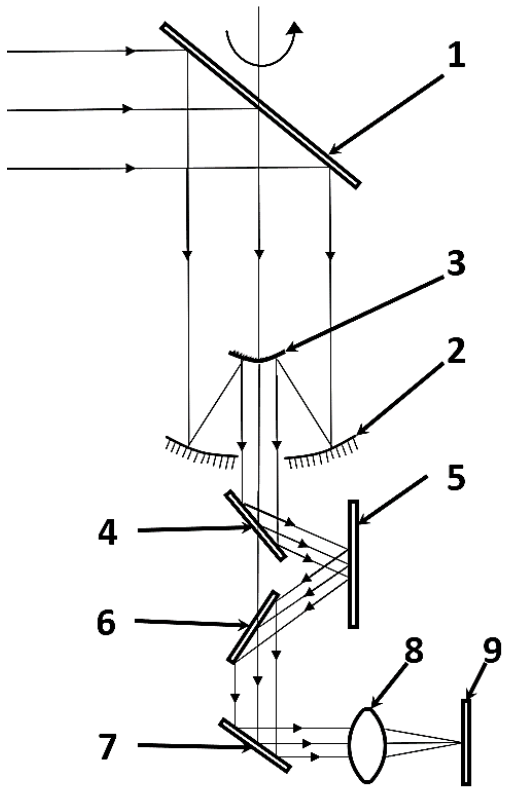


Рис.2

Дзеркала поз. 1 і поз.7 забезпечують відсутність дзеркального повороту зображення на матриці 9 навколо горизонтальної осі.

Недоліком системи на рис.2 є наявність дзеркальної системи із дзеркал поз. 4-6, що разом з механізмом її повороту суттєво збільшує габарити і вагу перископу.

На рис. 3 показано функціональну схему тепловізійного панорамного перископу, що пропонується в даній роботі для подальшої розробки. В цій системі зображення, сформоване інфрачервоним об'єктивом, який може бути

лінзовим, дзеркальним чи дзеркально-лінзовим, фокусується на балометричній матриці, що встановлена на поворотній платформі, поз.3. Верхнє дзеркало і вказана платформа синхронно повертаються в одному напрямку на однаковий кут, що дозволяє на матриці мати зображення, яке не обертається відносно самої матриці. Це забезпечується поворотом верхнього дзеркала і платформи з матрицею за допомогою механізму з двох однакових пар зубчастих кілець 1-2 і 3-4, посаджених на загальному для них валу крокового двигуна. Тому на моніторі планшету поз. 6 завжди спостерігається пряме зображення об'єктів при будь-якому повороті верхнього дзеркала. Планшет може бути задіяним для передачі відео інформації через систему мобільного зв'язку.

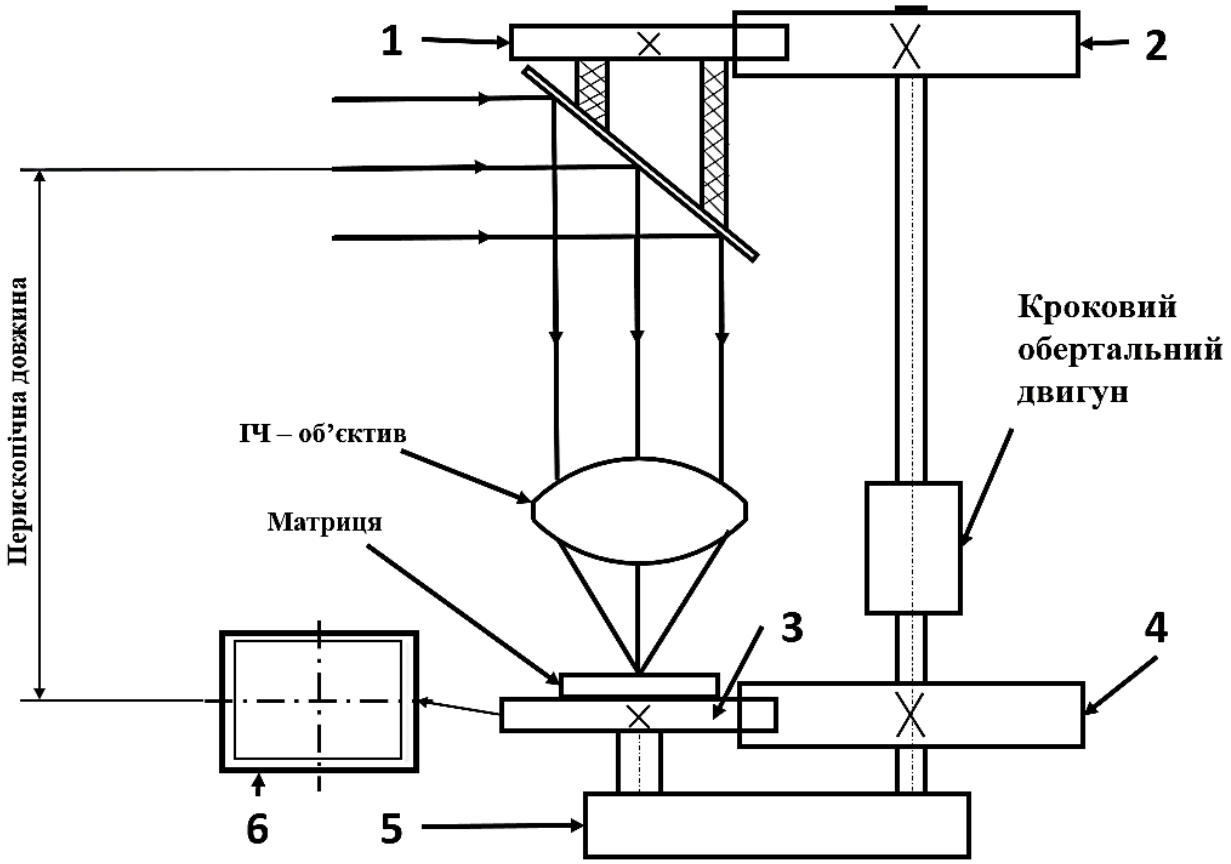


Рис. 3 Принципова схема запропонованого рішення.

ВИСНОВКИ

1. Застосування механізму синхронного повертання навколо оптичної осі верхнього дзеркала і болометричної матриці дозволяє видалити із оптичної системи призму Дове або пристрою, який її функціонально замінює, і тим самим суттєво спростити систему панорамного перископу, зменшити його габарити.

2. Використання планшету дозволяє істотно віддалити користувача перископу від краю укриття, чим суттєво підвищується безпечне використання приладу в екстремальних умовах.

3. Планшет також дозволяє оперативно в реальному масштабі часу передавати на зовні візуальну інформацію, використовуючи для цього мобільний зв'язок, наприклад, супутникову систему зв'язку Starlink.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] І.А. Туригін. «Прикладная оптика» 1965р.

[2] Ping-Ho Chen, Hsin-Chu; Yung-Shung Hung, Taoyuan Hsein; Jiun-Woei Huang; Ding-Tin Lin, both of Paipei; Chin-Kuan Luo, Hsin-Chu Hsein, all of (TW). Periscope using commoc optical path to have stabilized panoramic view. Patent No.: US 6,347,010 B1. Date of patent: Feb. 12, 2002

[3] Horst Schmidt, Wetzlar-nauborn; Reinhold Schmidt, Solms, both of Feb. Rep. pf Germany. Panoramic periscope for two spectrum ranges. Patent Number: 5,022,723. Date of Patent: Jun. 11, 1991.

Наук. керівник - д.т.н., професор, Чиж І.Г.

УДК 681.7(02)

Д.Д. Шинкарьов, студент гр. ПО-31мп, д.т.н., проф. Микитенко В.І.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОШУК ПЕРСПЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ МІН

Анотація. В даній статті розглядається система виявлення поверхневих мін (ПМ) оптичними (ОП) та оптико-електронними (ОЕ) методами. Ціллю роботи є аналіз ОП методів, як предмету виявлення ПМ.

Ключові слова: наземні міни, оптичні та оптико-електронні методи, поверхневі міни, оптико-електронні засоби, оптичний метод, інфрачервоний метод.

ВСТУП

Більшість гуманітарних операцій з розмінування досі проводяться так само, як і після Другої світової війни - за допомогою ручних щупів, службових собак і металошукачів [1]. Такі методи небезпечні, повільні, трудомісткі і вже не дуже ефективні. Сучасні протипіхотні міни не містять жодних металевих елементів, в кращому випадку - голку детонатора. Корпус зроблений з дерева або пластику. Єдине, що можна сказати точно - це наявність вибухових компонентів [2]. Тому вже кілька років поспіль докладаються великі зусилля над розробкою датчиків, які зможуть знайти міни за допомогою оптичних методів.

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ НАЗЕМНИХ МІН

Міни можна класифікувати за способом розміщення на два основних типи. Перший тип - це міни поверхневого розташування, які знаходяться на поверхні землі або трохи під нею і спрацьовують, коли по них наступають або проїжджають транспортні засоби. Існують різні види таких мін, таких як протипіхотні, протитранспортні та протитанкові, і вони можуть бути виявлені за допомогою різних методів, в яких використовують оптичні датчики, металошукачі та георадари. Другий тип - це заглиблені міни, які закопуються в землю на глибину від декількох сантиметрів до кількох метрів і також спрацьовують при натисканні або проїзді над ними. До таких також можна віднести і підводні міни. Виявлення цих мін ускладнене, оскільки вони знаходяться під землею (або під товщею води), і може потребувати використання більш складних методів, таких як акустичні датчики або дресировані собаки. У цій роботі будуть розглянуті методи для виявлення саме поверхневих мін.

Існує кілька методів, які можна використовувати для виявлення поверхневих мін [3]:

1. Біологічне виявлення
2. Електромагнітне виявлення
3. Механічне виявлення
4. Оптичне виявлення

Оптичні методи виявлення наземних мін ґрунтуються на використанні електромагнітного випромінювання, видимого або інфрачервоного діапазонів спектру. Також застосовується активний режим роботи з використанням лазерного випромінювання. Оптичні методи виявлення наземних мін мають ряд переваг перед іншими методами, такими як металошукачі. Вони можуть бути

більш чутливими, ніж металошукачі, і можуть виявляти міни, які виготовлені з неметалевих матеріалів. Вони також можуть бути більш швидкими та ефективними при охопленні великих територій. Однак оптичні методи також мають деякі обмеження. Вони можуть бути чутливі до умов освітлення та погоди, і їх може бути важко використовувати в густій рослинності або в умовах низької видимості. Крім того, деякі типи мін можуть бути спеціально розроблені для того, щоб бути невидимими для оптичних датчиків.

ОПТИЧНІ МЕТОДИ

Оптичні методи виявлення мін ґрунтуються на аналізі зображень, отриманих за допомогою таких датчиків, як телевізійні/тепловізійні камери, спектрометри та поляриметри.

Переваги оптичних методів:

- Безконтактність: Оптичні методи не потребують фізичного контакту з мінами, що робить їх безпечнішими для операторів.
- Портативність: Багато оптичних датчиків є компактними та легкими, що робить їх зручними для використання в польових умовах.
- Відносно недорогі: Порівняно з деякими іншими методами виявлення мін, оптичні датчики можуть бути більш доступними.
- Гнучкість: Оптичні методи можуть бути адаптовані для виявлення різних типів мін, використовуючи різні датчики та алгоритми обробки зображень.

Тепловізійні методи використовують тепловізійні камери для виявлення мін, які відрізняються за температурою від навколишнього середовища [4]. Ці камери можуть функціонувати вдень і вночі, незалежно від погодних умов. Однак вони можуть мати обмежену роздільну здатність та схильні до помилкових спрацьовувань через інші джерела тепла.

Поляризаційні методи використовують поляризаційні датчики для виявлення мін, які мають інші поляризаційні характеристики, ніж навколишнє середовище [5]. Ці методи можуть бути ефективними в умовах низької освітленості, але вони чутливі до блискучих поверхонь та інших джерел поляризованого світла.

Спектрометричні методи використовують спектрометри для виявлення мін, які мають унікальні спектральні характеристики. Ці методи можуть бути ефективними для виявлення мін, виготовлених з неметалевих матеріалів, але вони можуть бути складними та дорогими у використанні.

Обов’язковою складовою процесу виявлення мін є обробка отриманих зображень. Для цього розробляються спеціальні алгоритми машинного зору [6]. Їхньою перевагою є гнучкість та можливість адаптації до різних типів мін. Недоліками є необхідність великих обсягів даних для навчання та складність алгоритмів.

Коротке порівняння характеристик оптичних методів виявлення мін наведено в табл.1.

Таблиця 1. Порівняльна таблиця оптичних методів виявлення мін

Метод	***Сенсор***	***Складність***	***Ціна***	***Швидкість***	***Імовірність хибного спрацювання***
Тепловізійні	Тепловізійна камера	Низька	Середня	Висока	Середня (через інші джерела тепла)
Поляризаційні	Поляриметричний датчик	Середня	Низька	Висока	Середня (через блискучі поверхні)
Спектрометричні	Спектрометр	Висока	Висока	Середня	Низька
Машинне бачення	Комп’ютиризована телевізійна камера	Середня	Середня	Середня	Висока (залежить від алгоритму)

На основі представленої таблиці можна зробити наступні висновки:

Не існує універсального оптичного методу виявлення наземних мін. Кожен метод має свої переваги та недоліки, тому вибір оптимального методу або комбінації методів залежить від конкретних потреб та ресурсів. Наприклад, інфрачервоні (ІЧ) методи ефективніші за інших в умовах поганої видимості, вночі або серед природного оточення, адже вони здатні виявляти та ідентифікувати об'єкти за їх тепловим випромінюванням. Методи машинного зору, які ґрунтуються на обробці зображень, можуть бути більш точними та надійними в умовах хорошої освітленості, коли доступна детальна інформація про візуальні характеристики мін.

ІЧ датчики можуть виявляти міни, які важко розпізнати за допомогою методів машинного зору, а машинне навчання може допомогти розрізнити міни від інших об'єктів, які ІЧ датчики можуть помилково ідентифікувати.

Один з прикладів такого комбінування: ІЧ датчики використовуються для первинного виявлення мін та збору даних про їх теплові характеристики. Ці дані потім використовуються для тренування нейронної мережі, яка може розпізнавати міни на ІЧ зображеннях. Нейронна мережа може використовуватися для подальшого аналізу зображень, отриманих з камер, щоб отримати більш детальну інформацію про міни. В цьому випадку велике значення матимуть методи комплексування інформаційних каналів [7].

ВИСНОВКИ

Комбінування методів виявлення мін є активною областю досліджень, і постійно розробляються нові підходи. Зараз існує велика кількість методів, які підходять для різних умов та технічних завдань, але на мою думку, саме за допомогою комбінування методів можна зробити прогрес у даній сфері, адже це як підсилить переваги, так і усуне недоліки різних методів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Стаття The European Space Agency — HOPE for detecting landmines — Режим доступу: https://www.esa.int/Applications/Technology_Transfer/HOPE_for_detecting_landmines — 29.05.2001 p.
[2] Ph. Mächler. Detection Technologies for Anti-Personnel Mines. 1 p.
[3] Hany Kasban, O. Zahran, Sayed M. Elaraby, Fathi E. Abd El-Samie. A Comparative Study of Landmine Detection Techniques. 2010. 7-21 p.
[4] Luis F. Robledo, Miguel Carrasco, Domingo Mery. A survey of land mine detection technology. 2009. 5-6 p.
[5] Deepti Barhate, Varsha Nemade. Comprehensive Study on Automated Image Detection by using Robotics for Agriculture Applications. 2013.
[6] L. Safatly, Mohammed Baydoun. Detection and classification of landmines using machine learning applied to metal detector data. 2020.
[7] Колобродов В.Г., Микитенко В.І. Комплексування інформації в багатоканальних оптико-електронних системах спостереження (монографія) К.: «Аверс», 2013. – 178 с.

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

УДК 681.7.067.2

А.О. Яценко, студент гр. ПО-31мп, к.т.н., доц. Сокуренко В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ІНФРАЧЕРВОНОГО ОБ'ЄКТИВА З ВЕЛИКИМ ВІДНОСНИМ ОТВОРОМ

Анотація. У цьому дослідженні представлено методику та результати розроблення оптичної системи інфрачервоного об'єктива з фіксованою фокусною відстанню та великим відносним отвором (1:0,65). Параметричний синтез здійснено удосконаленим еволюційним алгоритмом глобальної оптимізації. Розроблена чотирилінзова система з фокусною відстанню 50 мм та кутом поля зору 16° призначена для роботи в довгохвильовому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль 8-12 мкм (LWIR). В ході дослідження проведений аберраційний аналіз та підтверджена можливість досягнення високих вимог до світлосили системи. Застосування даної системи може забезпечити покращення функціональних параметрів тепловізійних систем.

Ключові слова: інфрачервоний об'єктив, довгохвильовий інфрачервоний діапазон, LWIR, висока світлосила, поліхроматична дифракційна модуляційна передавальна функція, висока роздільна здатність.

ВСТУП

В умовах стрімкого розвитку технологій та зростання вимог до якості та ефективності технічних систем, особливе місце займають оптичні системи, що функціонують у інфрачервоному діапазоні. Такі оптичні системи знаходять широке застосування в військовій техніці, сучасних медичних приладах, системах безпеки, де вони використовуються як обов'язковий компонент приладів нічного бачення, систем теплового зондування тощо [1-3].

Одним з ключових параметрів оптичної системи, що впливає на її ефективність, є відносний отвір об'єктива. Велике значення цього параметра в інфрачервоних оптичних системах значно покращує їх здатність реєструвати слабке теплове випромінювання від об'єктів, що є критично важливим для належної роботи відповідного обладнання.

Дане дослідження присвячене розробленню та аберраційному аналізу чотирилінзового інфрачервоного об'єктива з фокусною відстанню 50 мм та великим відносним отвором (1:0,65). Даний об'єктив розрахований для застосування у довгохвильовому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль 8-12 мкм (LWIR). Використання такого об'єктива дозволить забезпечити одночасно високу якість зображення та підвищений рівень опроміненості мікроболометричної матриці, що важливо для надійної роботи тепловізійних систем у складних умовах.

Метою дослідження є перевірка можливостей досягнення критичних функціональних параметрів інфрачервоного об'єктива за допомогою параметричного синтезу та подальшого аберраційного аналізу розробленої моделі. Для досягнення поставленої мети в роботі задіяні сучасні методи оптичного проєктування, зокрема, засоби глобальної оптимізації.

ЗАПРОПОНОВАНИЙ ПІДХІД ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

В даній роботі розроблення оптичної системи чотирилінзового інфрачервоного об'єктива з малим діафрагмовим числом (F/0,65) виконане з використанням програмного забезпечення «PODIL», в якому реалізовані сучасні алгоритми глобальної оптимізації (як, наприклад, [4]). Зазначений програмний інструмент дозволяє швидко виконувати параметричний синтез складних

оптичних систем з врахуванням різних обмежень, включаючи обмеження на конструктивні параметри [5-7].

Для початку процедури було задано стартову оптичну систему об'єктива, що містить чотири окремі лінзи, введено параметри кутового поля зоря (в даному дослідженні 16°) та встановлено спектральний діапазон від 8 до 12 мкм. Ці параметри обрані для забезпечення можливості роботи з сучасними мікроболометричними матрицями, що мають відносно велику діагональ. В даному дослідженні увага приділялася забезпеченню високої світлосили системи, що важливо для належної роботи тепловізійного приладу при слабких потоках випромінення від об’єктів.

Всі лінзи об’єктива виготовлені з германію – матеріалу з високими показниками прозорості для довгохвильового інфрачервоного випромінювання.

Для досягнення оптимальної конструкції лінз та встановлених технічних вимог, зокрема великого відносного отвору та малої дисторсії (не більше за 0,8%), був застосований еволюційний алгоритм.

В результаті проведеного автоматизованого параметричного синтезу отримана оптична система з заданими фокусною відстанню, полем зору та відносним отвором. На рис. 1 показана оптична схема розробленого об'єктива з ходом дійсних променів.

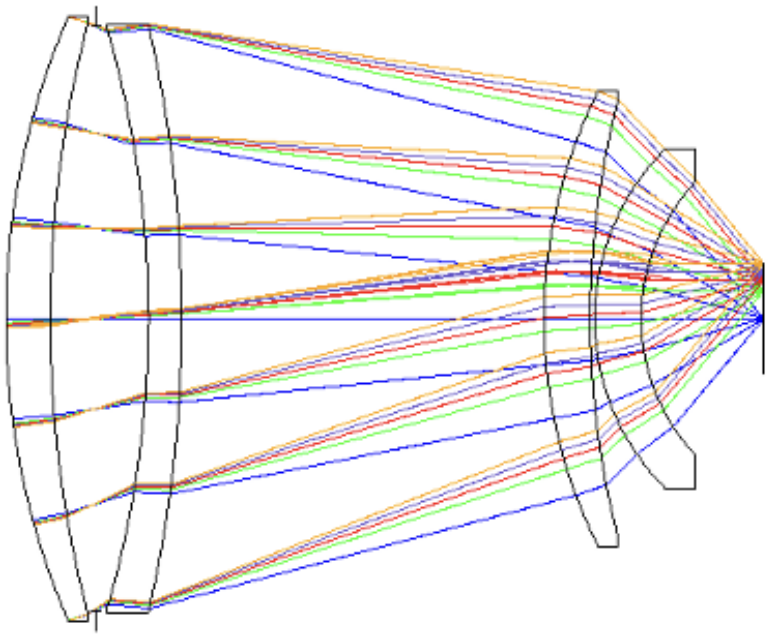


Рисунок 1. Оптична схема синтезованого об’єктива F/0,65 для LWIR-діапазону з ходом дійсних променів

На рис. 2 представлені точкові діаграми для різних кутів поля зору та наведені параметри розсіювання променів. Як видно, що максимальне значення середньоквадратичних радіусів поліхроматичних світлових плям становить 28,2 мкм на оптичній осі та 32,7 мкм при максимальному куті 8°.

Графіки, показані на рис. 3, відображають залежності контрасту зображення від просторової частоти для меридіонального і сагітального перетинів. Ці графіки демонструють потенційну здатність об'єктива відтворювати деталі зображення з високою роздільною здатністю, причому якість зображення по

всьому полю є збалансованою. На основі цих даних можна дійти до висновку, що об'єктив має високу роздільну здатність у заданому спектральному діапазоні.

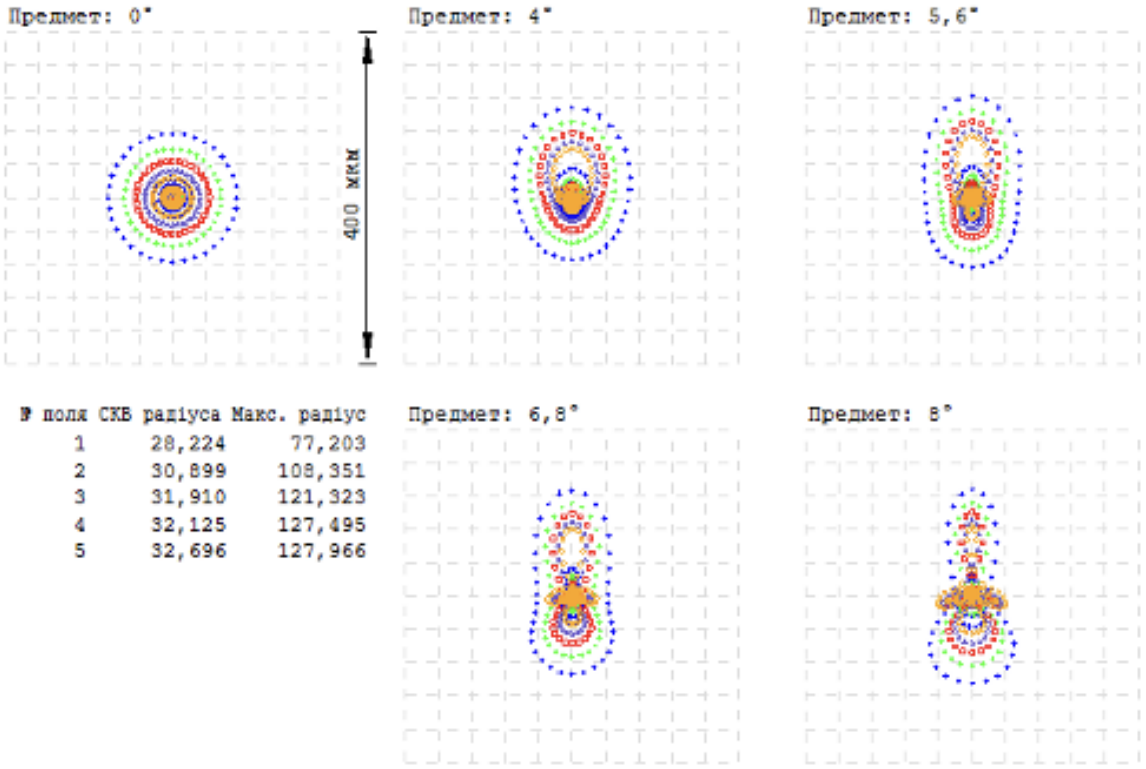


Рисунок 2. Точкові діаграми синтезованого об’єктива для LWIR-діапазону для різних точок поля зору

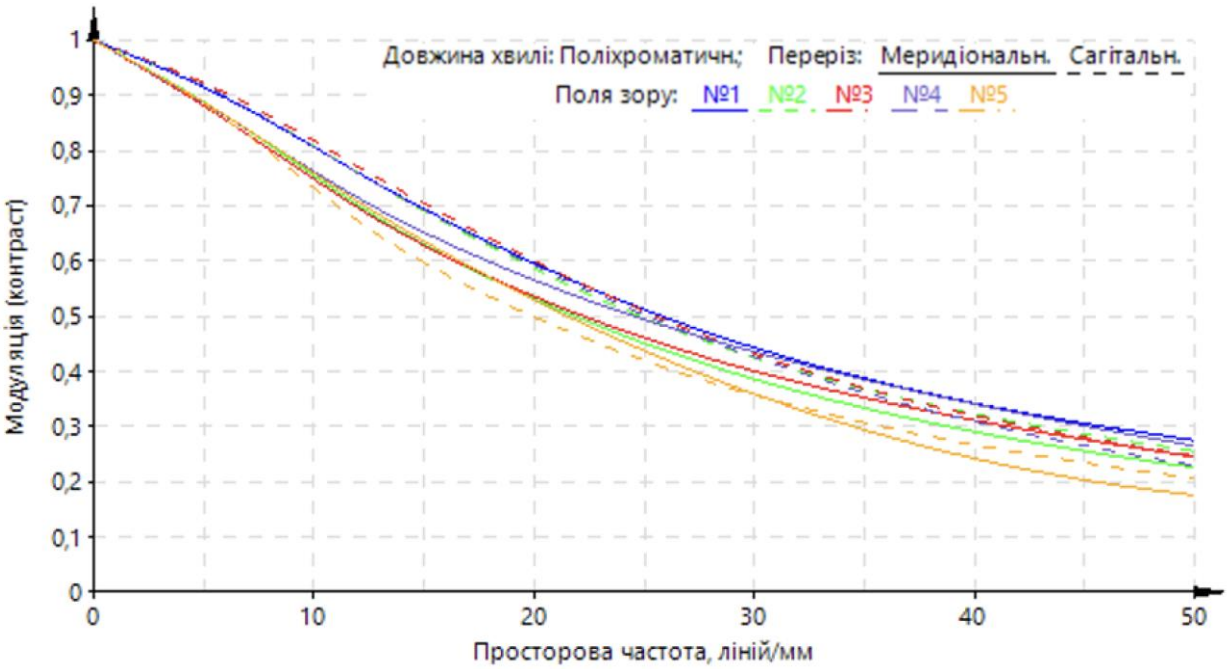


Рисунок 3. Поліхроматичні дифракційні модуляційні передавальні функції розробленого інфрачервоного об’єктива. Точки поля №1…5 відповідають предметним точкам з координатами 0°; 4°; 5,6°; 6,8° і 8°, відповідно

ВИСНОВКИ

Використаний метод автоматизованого параметричного синтезу об'єктива з фокусною відстанню 50 мм, полем зору 16° та великим відносним отвором (1:0,65) для довгохвильового інфрачервоного діапазону підтвердив свою дієздатність. Результати аналізу точкових діаграм вказують на досягнуте коригування як монохроматичних, так і хроматичних аберацій.

Поліхроматичні дифракційні модуляційні передавальні функції об'єктива, розраховані для різних точок предмету, свідчать про потенційно високу якість зображення, збалансовану по всьому полю зору.

Отримані результати дозволяють зробити висновок про можливість використання даного об'єктива в тепловізійних системах, що призначені для роботи в складних умовах з низьким рівнем потоків випромінення від об’єктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Mann, A. Infrared Optics and Zoom Lenses, Second Edition (Tutorial Texts in Optical Engineering). 2nd Edition. SPIE – The International Society for Optical Engineering, 2009.

[2] Vollmer, M. and Möllmann, K.-P. Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications, 2nd Edition. Wiley-VCH, 2018. 794 p.

[3] Колобродов, В. Г. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження / В. Г. Колобродов, М. І. Лихоліт. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2007. – 363 с.

[4] M. Ali and A. Torn. Population Set-Based Global Optimization Algorithms: Some Modifications and Numerical Studies. Computers & Operations Research, 31(10):1703–1725, 2004.

[5] Сокуренко В. М., Смажко І. О. Автоматизований розрахунок оптичної системи SWIR-об’єктива // Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки, 2019. – №6 (279). – с. 202–205.

[6] V. Sokurenko, O. Sokurenko. Automated design of zoom riflescope with extended parameters”, KPI Science News, no. 1–2, pp. 102–109, 2022.

[7] Sokurenko, V. (2024). Automated Design of Multi-element Optical Systems for Various Purposes. 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, pp. 85–115.

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

Секція 3.
Комп'ютерно-інтегровані технології в приладобудуванні

UDC 621.311

Oleh Bukovskyi, postgr. student gr. PB-z31f, PhD, Assoc. Professor Serhiy Vysloukh
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

MODELING OF THE MAIN FACTORS AFFECTING THE ELECTRICAL PARAMETERS OF INSULATION OF INTERBLOCK ELECTRICAL CONNECTIONS

Annotation. The main factors affecting the quality parameters of cable products insulation are considered. The influence of temperature on the insulation of cable and wire products is investigated. Recommendations for determining the service life of insulation are considered. It is established that the main factors affecting the insulation are temperature and currents from electrical appliances. The results of the study indicate the importance of taking these factors into account in the process of creating a mathematical model for controlling the parameters of interconnection electrical connections.

Keywords: Interblock electrical connections, mathematical model, automated system, parameter control, cable insulation, operating temperature, insulation breakdown, influence of supply currents, Arrhenius equation, Van Hoff rule, heat balance.

INTRODUCTION

The most important stage in the manufacture of cable and wire products is the initial quality control. Improving the efficiency, quality and reliability of products is possible through the use of automated control systems for their parameters. The functioning of such systems requires the use of appropriate mathematical models. A mathematical model is a set of various mathematical elements, including numbers, variables, vectors, sets, and corresponding relationships between them, which describe the properties and behavior of the object under study with the accuracy required for the study. The creation of a mathematical model is a synthesis or compilation of some elements of the scientific disciplines with the help of which the relevant object will be studied. Thus, the mathematical model should take into account various types of influences on the control parameters of cable products. One of the most important aspects is to determine the factors that affect the insulation of cable products. Their study is of great importance for the development of a mathematical model of an automated system for monitoring the parameters of interconnection electrical connections.

PURPOSE OF THE WORK

The purpose of this work is to study the impact of thermal processes in insulation under the influence of various factors, such as temperature, currents from electrical appliances, and energy losses. This study will help to identify the key factors that should be taken into account when developing a mathematical model for controlling the parameters of inter-unit electrical connections.

MATERIALS AND RESULTS OF THE STUDY

The materials used to create the insulation of cable lines are quite vulnerable to various factors that affect them throughout their service life. One of the most important factors that has a complex characteristic effect on electrical insulation materials is temperature [1, 2].

As the temperature increases, chemical reactions between the insulation material, its internal inclusions, the environment, and moisture accelerate. This reduces the electrophysical properties of the insulation, which can lead to a breakdown of the

insulation gap or mechanical destruction of the insulation. The amount of moisture contained in the paper-oil insulation of cable products depends on its thickness and temperature conditions. It also has a significant impact on the electrical strength and aging rate of the insulation [3].

Thus, the saturation of paper and oil insulation with moisture is represented by the concentration equilibrium time constant. The concentration equilibrium time constant τ in hours refers to the time interval during which the percentage of moisture content of the inner and outer layers of the insulation remains unchanged.

$$\tau = A_1 \cdot d^2 \cdot \exp\left(A_2 \cdot \theta + A_3 \cdot C_в\right), \tag{1}$$

where A_1, A_2, A_3 - constant coefficients, their values are experimentally determined for each type of oil; d - paper thickness, m; θ - current temperature, °C; C_m - moisture concentration in percent (%) of the mass of paper-oil insulation.

As the operating temperature increases, the rate of saturation of paper-oil insulation with moisture increases, which will subsequently cause a decrease in its dielectric properties and lead to breakdown [4].

The formula for determining the service life of insulation, t_{serv} in years is as follows:

$$t_{serv} = \frac{\left(\frac{1}{СП_t} - \frac{1}{СП_0}\right)}{D} \cdot e^{\frac{E_A}{R \cdot \theta}}, \tag{2}$$

where $СП_t$, $СП_0$ - degree of polymerization of the insulation material, respectively, its critical value, which is achieved at time t, and the initial value at t_0; D - constant value that depends on the chemical composition of the insulation; E_A - activation energy of the chemical reaction, J/mol; R - the universal gas constant, J/(mol·°C); θ - temperature, °C.

The value $СП$ is determined by the Chendong approximation [3]:

$$СП = \frac{\lg\left(0,88 \cdot c_{2FAL}\right) - 4,51}{-0,0035}, \tag{3}$$

where c_{2FAL} - concentration of furfuraldehyde ($2FAL$) per unit mass of cellulose.

Formula (1) was derived on the basis of the empirical Arrhenius equation, which is consistent with the findings of the activated complex theory regarding the relationship between the rate constant of a chemical reaction k and the temperature at which this reaction occurs [3], in h^{-1}.

$$k = K \cdot \theta_p^n \cdot \exp\left(-\frac{E_0}{R \cdot \theta_p}\right), \tag{4}$$

where K - constant temperature-independent coefficient; θ_p - temperature in the reactor, °C; n - temperature power of the pre-exponent; E_0 - potential barrier, J/mol.

Since the growth of the exponential function in (4) is much faster with increasing temperature than the increase in the pre-exponential factor, formula (4) for a limited temperature range will take the following form:

$$k = A \cdot e^{-\frac{B}{\theta_p}}, \tag{5}$$

Let's transform and logarithmize expression (5). Since the time of a chemical reaction t_p in years is inversely proportional to the rate of its progress k, then:

$$\ln\left(t_p\right) = -\ln\left(A\right) + \frac{B}{\theta_p}, \tag{6}$$

where A, B - constant coefficients determined from accelerated heat resistance tests.

Consider samples of insulation material of heat resistance classes: $Y(90°C)$, $A(105°C)$, $E(120°C)$ and $B(130°C)$. In Fig. 1 shows the Arrhenius diagram for the example of insulation materials of these heat resistance classes.

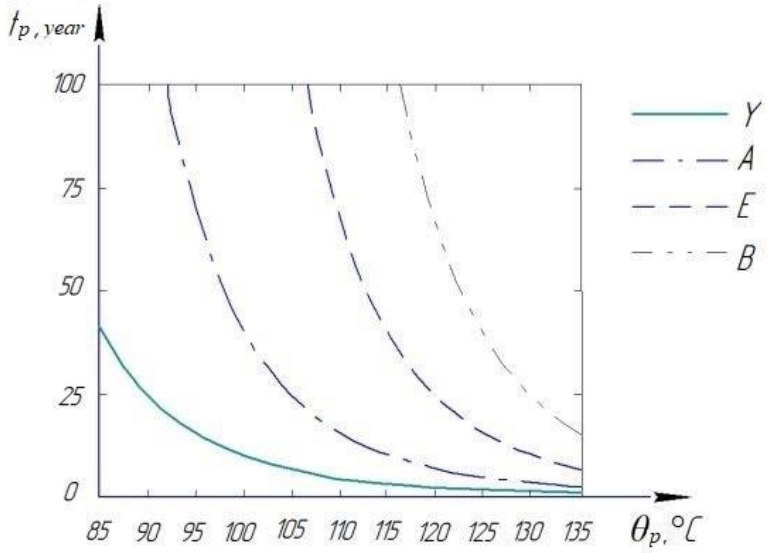


Figure 1. Arrhenius diagram for insulation samples of heat resistance classes Y, A, E and B. using the eight-degree rule with a standard service life of 25 years.

Using expression (6), let's calculate the actual service life of the insulation through the standard value T_{norm}, years:

$$t_p = T_{норм} \cdot e^{B\cdot\left(\frac{1}{\theta_p} - \frac{1}{\theta_{норм}}\right)}, \tag{7}$$

Let's use Montsinger's rule to extrapolate the results of accelerated heat resistance tests: exceeding the standard temperature by one degree $\Delta\theta = 8°C$ (the so-called "eight-degree rule") reduces the thermal life of the insulation by half. This rule can be written in terms of the Van Hoff rule:

$$L = \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left[\int_0^{\Delta t_i} e^{B\cdot\left(\frac{1}{\theta(t)} - \frac{1}{\theta_{норм}}\right)} dt\right], \tag{8}$$

where Δt_i - elementary time interval for which the actual temperature $\theta(t)$ can be assumed to be unchanged, hour; T - period of time of the study, hour.

Based on the Arrhenius diagrams for insulation samples of different heat resistance classes, it was shown that the factor that has the greatest impact on the technical condition of the insulation is temperature.

We will analyze the influence of fundamental and high-frequency currents on insulation heating, as well as the currents of an asymmetric three-phase vector system

in the reverse sequence. We will consider the complex load on the nodes of the electrical network as a source of high harmonics and asymmetry of phase values. Let us determine the instantaneous value of the total power loss during the passage of the *j-th* factor current for a section of a multiphase AC network according to the Joule-Lenz law, W

$$\Delta p_{л.\Sigma} = \sum_1^m i_j^2 \cdot R_{л.j}, \quad (9)$$

where m - the number of phases; i_j - instantaneous value of the *j-th* heating factor current, A; $R_{l.j}$ - phase active resistance of the heating *j-th* factor current, Ohm.

Heating is an inertial process that can be characterized by the time constant obtained by solving the heat balance equation. For the case of unsteady heating of a homogeneous body:

$$C_{екв} \cdot d\theta_\Sigma + \alpha_{ср} \cdot S_{охол} \cdot \theta_\Sigma \cdot dt = \Delta p_{л.\Sigma} \cdot dt, \quad (10)$$

where C_{eq} - equivalent heat capacity of the body to be heated, J/°C; θ_Σ - total temperature of the body to be heated, °C; α_{av} - average value of the heat transfer coefficient over the cooled surface, W/(m^2·°C); S_{cool} - cooling surface area, m^2.

The total temperature θ_Σ includes the ambient temperature θ_0 and the temperature difference $\Delta\theta$ between the heated body and the environment, °C:

$$\theta_\Sigma = \theta_0 + \Delta\theta, \quad (11)$$

The change in ambient temperature is a rather slow process, so for the heating interval, we consider the temperature value to be constant:

$$\theta_0 = const, \quad (12)$$

Let's write equation (10) as follows:

$$T_\theta \frac{d\Delta\theta}{dt} + \Delta\theta = \Delta\theta_{уст}, \quad (13)$$

where T_θ - constant body heating time, hour; $\Delta\theta_{set}$ - set value of the temperature difference between the heated body and the environment, °C.

$$\Delta\theta_{уст} = \frac{\Delta p_{л.\Sigma}}{\alpha_{ср} \cdot S_{охол}} - \theta_0, \quad (14)$$

Complete solution of the inhomogeneous differential equation (13):

$$\Delta\theta = \frac{e^{-\frac{t}{T_\theta}}}{T_\theta} \int_0^t \Delta\theta_{уст} \cdot e^{\frac{t}{T_\theta}} dt + C_{інт} \cdot e^{-\frac{t}{T_\theta}}, \quad (15)$$

The function $\Delta\theta_{set} = f(t)$, as can be seen from (14), depends on $\Delta p_{l.\Sigma}$, which is assumed to be known. The integration constant C_{int} in expression (15) will be equal to a specific value for the time point $t = 0$.

CONCLUSIONS

The influence of the main physical processes on the insulation of cable and wire products, which is necessary for the further development of a mathematical model of an automated control system, is investigated.

It was found that the technical condition of insulation is significantly affected by temperature conditions, load currents, higher harmonics, and zero current sequences. Taking these factors into account in the mathematical model is critical for effective control of the parameters of interblock electrical connections.

The results of the study will be used to develop software for an automated system for monitoring the parameters of interblock electrical connections based on adaptive algorithms.

LIST OF REFERENCES

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

[2] Bukovskyi O.M. "Automation of the process of monitoring the parameters of interblock electrical connections." / O.M. Bukovsky, S.P. Vysloukh // Bulletin of Khmelnytsky National University. Series: Technical Sciences. - 2024. - No. 1. - P. 325-329.

[3] Ng, F. M., Ritchie, J. M., Simmons, J. E. L., & Dewar, R. G. (2000). Designing cable harness assemblies in virtual environments. Journal of Materials Processing Technology, 107(1-3), 37-43.

[4] Khouri, P. M. P., Walsh, M. J., Brandl, C., & Rybachuk, M. (2021). Design and automation of electrical cable harnesses testing system. Microelectronics Reliability, 120, 114097.

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

UDC 681.5:621.91:691.175

Oleksandr Matoshyn, student gr. PB-21mn, Assoc. Prof. Sergii Vysloukh
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

SYSTEM OF ADAPTIVE CONTROL OF THE PROCESS OF DRILLING HOLES IN CARBON FIBER REINFORCED POLYMER PARTS

Abstract. The paper considers the issue of creating an automated system for adaptive control of the process of drilling holes in carbon fiber reinforced polymer parts, which allows machining with maximum productivity while ensuring the given delamination factor and roughness of the treated surface. A description of the information, mathematical and software of the automated system, which is intended for its reliable functioning, is given. For the implementation of the automated system, programs for optimization of drilling modes "Optimization composites" and simulation modeling of the process of drilling polymer composite materials "Drilling composites v1" were developed. Recommendations for the implementation of an automated control system for the process of drilling holes in production have been provided.

Keywords: polymer composite materials, carbon fiber reinforced polymers, drilling, quality parameters, hole delamination, roughness, automated control system, drilling modes, optimization of modes, simulation modeling of the drilling process, thrust force, productivity.

INTRODUCTION

Composite materials (CM), in comparison with traditional structural materials, have increased mechanical characteristics, which indicates the feasibility of their use for the manufacture of parts that work in difficult operating conditions. At the same time, the most used method of their mechanical processing is drilling, which allows obtaining high-quality holes for further assembly of products. However, this process, due to the peculiarities of the CM structure, is associated with the formation of various defects that significantly reduce the quality of the obtained surfaces. Critical defects are delamination and surface roughness of machined holes, which can be determined by an indirect method by measuring the value of the thrust cutting force [1].

To increase the efficiency of the machining of composite materials, it is advisable to use adaptive control systems for cutting modes. A review of systems for automated control of the drilling process showed that the existing systems [2, 3] do not ensure obtaining the necessary values of the surface roughness of the hole, which is also an important factor for ensuring the operational reliability of the part in the assembled product. It was established that the main drawback of the existing control systems is that they take into account only the hole delamination factor and lack the necessary information base of processed composite materials, which includes appropriate mathematical models and processing modes. At the same time, the problem of drilling holes with maximum productivity and acceptable quality parameters remains unsolved.

The purpose of this work is to increase the efficiency of the process of drilling holes in composite materials, using the example of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) parts, by developing an automated control system (ACS) that supports optimal cutting modes to ensure the specified parameters of the quality of the treated surfaces.

MATERIALS AND RESEARCH RESULTS

The main task of the ACS during drilling composite materials is adaptive feed control in real time by measuring the value of the thrust force. To control the system, it is necessary to measure a certain signal corresponding to the value of the thrust force and transfer it to the PC to calculate the quality parameters of the obtained hole surfaces. Information about the cutting process is obtained with the help of appropriate

sensors connected to the machine and built into the technological processing system.

The structural and functional diagrams of the ACS are given in [1], which provide measurement and processing of the thrust force signal using appropriate technical devices, namely: a Kistler 9257B dynamometer, a Kistler 5070A01110 amplifier, and a 5697A1 data acquisition system. On the basis of the measured signal, the values of the delamination factor and the roughness of the machined surface of the hole are estimated by an indirect method, according to which, if necessary, the appropriate correction of the feed is performed using the obtained mathematical models.

For the functioning of this ACS, its informational, mathematical and software support has been developed. The information support of the developed automated system includes initial and derivative information. At the same time, the initial information is divided into variable and conditionally permanent. Variable information is data that changes each time depending on the specific problem solved. This type of information includes the dimensions of the hole (diameter and its depth), the type of processed material, the thickness of the material layer, the used cutting tool and its parameters (diameter and the point angle), the used equipment and clamping device, the permissible values of feed *S* and cutting speed *V* according to the capabilities of the equipment, the maximum permissible values of the delamination factor and the roughness of the treated surface, etc.

One of the components of the information support of the ACS is conditionally permanent information presented in the form of databases: database of composite materials, consisting of information on the type (grade) of CM, its inter-laminar fracture toughness in mode I, elastic modulus and Poisson ratio; database of optimal drilling modes for a specific type (grade) of CM, calculated using the "Optimization composites" program; database of used equipment; database of devices for clamping the processed workpiece and database of cutting tools.

Derivative information includes optimal recommended drilling modes based on the measured value of thrust force, critical values of thrust force, predicted values of the delamination factor, roughness of the machined surface of the hole, dimensional error (accuracy) and wear of the cutting tool.

Mathematical support of the ACS (Fig. 1) includes mathematical models of quality parameters from processing modes and the point angle of the drill, namely: the delamination factor, roughness and thrust force, a generalized mathematical model of the drilling process and all models used in the ACS, including mathematical model of the critical value of the thrust cutting force.

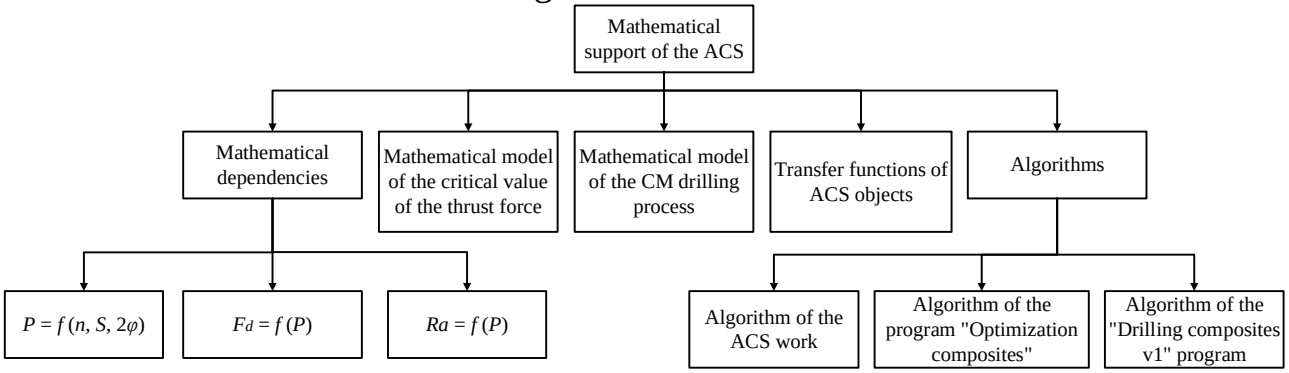


Figure 1. Scheme of mathematical support of the ACS

Mathematical support also includes transfer functions that describe the transition processes of individual elements of the functional scheme of the ACS.

The software of the automated system (Fig. 2) is divided into system (general) and applied (special). The general software of the system is designed to support its performance and consists of an operating system, an integrated development environment (IDE) Visual Studio 2022, a Fanuc CNC system, and a database management system (DBMS). The special software of the system includes application program packages: the program for determining the optimal drilling mode "Optimization composites", the developed simulation modeling program "Drilling composites v1" and the DynoWare program used to process the measured thrust force signal.

Visualization and control of force measurement using a dynamometer or single or multi-component force sensors is performed by the DynoWare program.

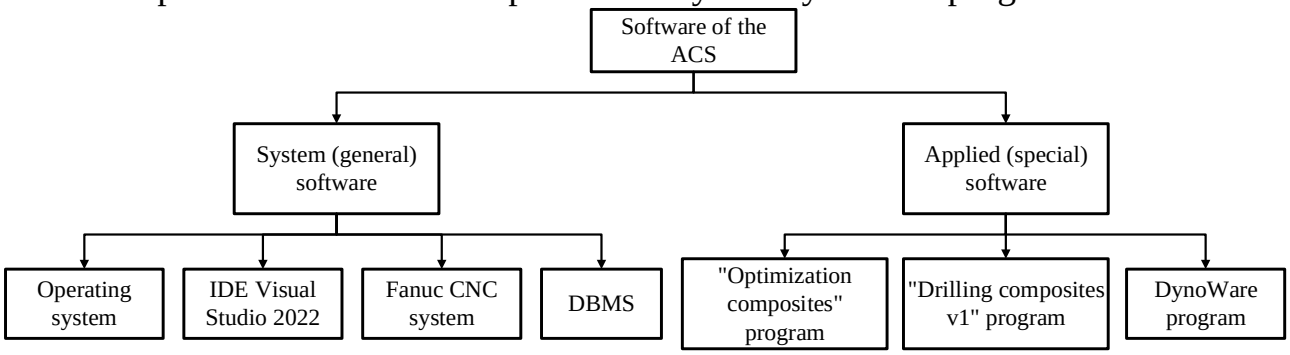


Figure 2. Software scheme of the ACS

The "Optimization composites" program was developed using the Matlab application program package in the m-file format. The volume of the program is 8 KB. The inputs are the diameter of the drill and the point angle, as well as the constraints on the quality parameters and the critical value of the thrust force. As a result of the program, graphs are obtained with the solution of the optimization problem at the vertex of the polyhedron and the optimal drilling mode, which is input information for the "Drilling composites v1" program.

The simulation modeling program "Drilling composites v1" is developed in the object-oriented programming language C# using the Visual Studio 2022 environment. At the same time, the advantages of object-oriented programming are used by using the Windows Forms (.NET Framework) format. The volume of the program is 250 KB.

In the main window of the "Drilling composites v1" program, the user sets the time interval of the dynamometer poll and enters input data on the calculated optimal drilling modes (drill feed S and number of revolutions n), material layer thickness h, point angle of the drill 2φ, workpiece material thickness, the maximum value of the delamination factor and the permissible value of the roughness of the machined surface of the hole. At the same time, the processing material is selected from the drop-down list, which includes data on carbon fiber reinforced polymer, fiberglass and hybrid CM.

After the process is started, a simulation modeling of drilling holes is performed by randomly generating a thrust force value from a certain range depending on the point angle of the drill and the spindle revolutions. At the same time, corresponding graphs of thrust force, feed change, delamination factor and roughness in dynamics along the cutting path are derived.

The main features and advantages of the created automated control system are the ease of operation, which consists in the following: control of Kistler measuring devices via USB, RS-232C, Ethernet or IEEE-488 data transmission interfaces; built-in functions of evaluation and calculation of the signal value; the possibility of simultaneous recording of up to 28 measurement channels depending on the data acquisition system and visualization of measured dependencies in real time [4].

CONCLUSIONS

The work solves the actual scientific and applied problem of increasing the efficiency of the process of drilling holes in carbon fiber reinforced polymer parts by means of adaptive control of the drill feed with restrictions on the quality parameters of the surfaces of the processed holes.

For the reliable functioning of the system, the information, mathematical, technical and software of the automated control system has been developed, which includes the algorithms of the ACS, programs for optimization of the machining process "Optimization composites" and simulation modeling "Drilling composites v1".

Application of the system of simulation modeling of the process of drilling holes "Drilling composites v1" allows to implement a computer experiment using arbitrary processing conditions without the costs of processed and tool materials and with minimal energy consumption.

The method of increasing the efficiency of the process of drilling holes in carbon fiber reinforced polymer parts by using an adaptive control system presented in the article can be recommended for use in the processing of a wide range of composite materials.

REFERENCES

[1] Матошин О. В., Вислоух С. П. Система автоматизованого керування процесом свердління отворів у деталях з вуглепластику. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2024. Том 35 (74), №1. Ч. 1. С. 237-244. URL: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.1/36.

[2] Ohzeki H., Hoshi H., Arai F. Drilling of Carbon Fiber Reinforced Plastic Composites with Feedback Control Based on Cutting Force. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing. 2012. Vol. 6, no. 1. P. 52–64. URL: https://doi.org/10.1299/jamdsm.6.52.

[3] Dobrinski A., Dudarev A. Intelligent automated drilling in the laminate composites and hybrid materials. Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 38, no. 4. P. 1980–1983. URL: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.723.

[4] Data Sheet, DynoWare. Software for data acquisition and evaluation. URL: https://kistler.cdn.celum.cloud/SAPCommerce_Download_original/000-371e.pdf (date of access: 09.04.2024).

Supervisor – PhD, Assoc. Prof. Vysloukh S.P.

UDK 614.8.084+629.73

I.E. Rudkovskyi, student of group PB-31mp, Associate professor Stelmakh N.V.
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

REVIEW AND ANALYSIS OF TECHNICAL AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF UAV MODIFICATIONS FOR SEARCH AND RESCUE OPERATIONS

Abstract. The paper addresses the issues related to the operation of unmanned aerial vehicles that conduct search and rescue operations. The main tasks of rescue UAVs were analyzed, along with scientific research by domestic and foreign scholars and engineering experts in the field of UAV development. The primary designs and the most common neural network structures for rescue UAVs were also examined.

Keywords: UAVs, rescue operations, neural networks, object recognition.

INTRODUCTION

Today, unmanned aerial vehicles are increasingly being implemented into various spheres of human activity such as:

- Agriculture: Drones are used for monitoring fields, distributing fertilizers and pesticides, and gathering data about the condition of crops, which helps farmers optimize land treatment and increase crop yields.
- Construction and infrastructure: The use of drones for inspections and monitoring of construction sites allows for the identification of problem areas without the need for physical presence at heights or inaccessible locations.
- Environmental monitoring and conservation: Drones are used to monitor wildlife, forest fires, and other natural territories, enabling effective control of the environment and prevention of illegal activities.[1]
- Rescue operations: Drones become indispensable assistants in search and rescue operations, especially in conditions dangerous or inaccessible to humans. They can quickly survey large areas, delivering necessary materials or medicines to disaster sites.

Due to the military actions occurring in the territory of Ukraine, the role of rescue drones holds a special place in the search and conduct of rescue operations.

Among the most common tasks for this type of drone are:

Delivery of medical supplies and medications: rescue drones can quickly deliver necessary medical materials to conflict or disaster zones where traditional transport may have limited access.

Lifting of rescue equipment: transporting rescue equipment, such as automatic external defibrillators, to the incident site, especially in hard-to-reach places.

Surveying and mapping of combat zones: rescue drones allow for the surveying and creating accurate maps of areas, which is important for planning rescue and humanitarian operations, as well as for determining safe routes for rescuers and the evacuation of civilians.

MATERIAL AND METHODS

The most commonly used types of rescue drones include:

DJI Matrice 300 RTK - known for its durability and ability to operate in harsh

weather conditions. It can carry multiple payloads simultaneously and features an obstacle avoidance system, as well as high-quality cameras, including thermal imaging.[2]

DJI Mavic 2 Enterprise - equipped with high-resolution cameras and thermal imaging, which allows it to perform search missions in various conditions. It can also be equipped with additional accessories, such as spotlights and loudspeakers for night operations.

Autel Evo 2 Dual 640T - features a high-quality RGB camera and a thermal camera, making it ideal for search operations. It also has high wind resistance and an obstacle avoidance system.

Yuneec H520 - a hexacopter drone that has a robust structure allowing it to operate in strong winds. It is compatible with a range of cameras and has ultrasonic sensors for obstacle avoidance.

Parrot Anafi Thermal - equipped with dual cameras and a lightweight structure, making it ideal for rapid deployment in search missions. It can capture thermal images and record videos in high resolution.[2]

Among the most common functions in terms of information processing by rescue drones are:

Detection of thermal signatures: drones equipped with thermal imaging cameras can detect heat from the bodies of people or animals, which is particularly useful at night or in conditions of limited visibility.

Object classification: modern algorithms allow for the classification of detected objects in images, distinguishing, for example, people from items or natural elements.

Face recognition: using advanced image processing algorithms, drones can identify individuals by their faces, which can assist in identifying missing persons.

Real-time motion tracking: drones can analyze and track the movement of objects in real-time, allowing operators to monitor the movements of people or vehicles in complex or dangerous conditions.

As of today, significant scientific research has been accumulated by both domestic and foreign engineers in the field of UAV development.

In the study "DroneNet: rescue Drone-View Object Detection", a new system called DroneNet is examined. It incorporates an object information enhancement module, which increases sensitivity to small objects. This system integrates various levels of characteristics for improved recognition.[3]

Another research, "Eye in the Sky: Drone-Based Object Tracking and 3D Localization", introduces the TrackletNet system, which utilizes a graph-based approach for object tracking and localization within a single system. This approach ensures stable tracking of object trajectories.[4]

The third study, "Dynamic Object Tracking on Autonomous UAV System for Surveillance Applications", explores an autonomous object tracking system based on the YOLOv4-Tiny algorithm. This system boasts high processing speed and the ability to integrate route planning and 3D position estimation, enabling full autonomous control [5].

The main drawback of the DroneNet system lies in its high computational complexity, which may slow down system responsiveness, especially in real-time

scenarios. This can limit its use in high-speed rescue operations, where every second is critical.

TrackletNet requires complex configuration and calibration, which can be cumbersome and require additional effort and time from rescue teams who may not have the necessary resources or expertise for this.

The system based on YOLOv4-Tiny performs high-speed processing, but its accuracy may be limited in complex conditions, such as low lighting or when objects are partially obscured. This can lead to false detections or target omissions.

While significant experience has been accumulated, there are still unresolved issues in this direction. Therefore, it is important to consider the specificity and individuality of the applied task when using UAVs for rescue operations.

Thus, the aim of this work is to search for the most effective neural network model that would take into account the characteristics of dynamic and complex environments in which rescue UAVs operate, meet the requirements of high accuracy and data processing speed, and be suitable for self-learning during UAV operation. Let's consider the search for a neural network model to solve the task, for example, automatic object detection and classification on UAV images under various visibility conditions. The solution to the task involves performing the following functions from the perspective of information processing: object detection and recognition, classification of found objects by type, tracking their movement over time, and model adaptation to new conditions without operator intervention.

Let's consider typical solutions of neural networks for addressing the given task:

Convolutional Neural Networks (CNN): effective in identifying objects in images due to their ability to detect visual features at various levels of abstraction. CNNs can automatically learn to detect and classify different types of objects based on training data.

Recurrent Neural Networks (RNNs), particularly Long Short-Term Memory (LSTM) networks: useful for analyzing time-series data. They can track the dynamics of object movement over time and predict their future positions.

Autoencoders: Used for data dimensionality reduction and extracting essential features without losing key information, which can improve the performance of other neural networks by preprocessing input data.

Generative Adversarial Networks (GANs): can be used to increase the amount of training data by generating synthetic images, helping to enhance the accuracy and overall efficiency of the model when working with a limited amount of real data.

The main drawbacks of these systems include their high dependency on large volumes of annotated data, which can be limiting for many applications due to high costs and data unavailability. Additionally, training powerful neural networks requires significant computational resources and time, complicating their use in mobile or embedded systems. Furthermore, the models' resilience to changes in conditions often does not meet the requirements of the real world, where changes in conditions can be unpredictable, making the systems less effective outside laboratory conditions.

CONCLUSION

Therefore, the task of searching for typical solutions of neural networks for search

and rescue operations is relevant, and the improvement of these technologies can significantly enhance the effectiveness and speed of response to emergency tasks, especially in complex and dynamically changing conditions that often occur during rescue operations. The development and implementation of adaptive, highly efficient, and minimally dependent on external data systems can help ensure a faster and more accurate response to emergency situations, saving more lives and enhancing operational safety.

REFERENECES

[1] Мандровська, С. О., Стельмах Н. В. Аналіз методів виявлення пожеж за допомогою малогабаритних БПЛА. Збірник праць Міжнародної науково-технічної конференції НОВІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ м. Одеса, 2023. 211-213

[2] The Best Drones For Search And Rescue Operations. Link: https://yourdronereviews.com/drones-for-search-and-rescue

[3] X.; Yao, F.; Li, A.; Xu, Z.; Ding, L.; Yang, X.; Zhong, G.; Wang, S. DroneNet: Rescue Drone-View Object Detection. Drones 2023, 7, 441. https://doi.org/10.3390/drones7070441

[4] Zhang, H.; Wang, G.; Lei, Z.; Hwang, J.N. Eye in the sky: Drone-based object tracking and 3d localization. In Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia, Nice, France, 21–25 October 2019; pp. 899–907.

[5] Lo, L.-Y.; Yiu, C.H.; Tang, Y.; Yang, A.-S.; Li, B.; Wen, C.-Y. Dynamic Object Tracking on Autonomous UAV System for Surveillance Applications. Sensors 2021, 21, 7888. https://doi.org/10.3390/s21237888

UDC 621.391.3

V.V. Storozhenko, student of gr. PB-31mp, Ph.D., Assoc. Prof. Stelmakh N.V.
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

INTEGRATION OF ELECTRO NEUROSTIMULATION INTO A PORTABLE ELECTROMYOGRAPHY DEVICE FOR REHABILITATION

Abstract. The paper discusses the design of an electromyographic device for rehabilitation. At the stage of preliminary research, a prototype of an electromyographic device was proposed, in which it was proposed to integrate electroneurostimulation in order to improve and expand its functionality.

Keywords: EMG, ENS, TENS, neurostimulation, rehabilitation.

INTRODUCTION

Electromyography (EMG) is a technology that opens up new possibilities for analyzing and measuring the electrical activity of muscles using sensors. This method is widely used not only in medicine and sports, but has also become a key tool in the development of modern technologies to improve the lives of people with physical disabilities, especially taking into account the consequences of hostilities in our country. [1]

Given these needs, special attention is paid to innovative solutions that can improve the rehabilitation process, in particular, through the use of transcutaneous electrical nerve stimulation, its implementation in EMG-based systems, which opens up prospects for creating more effective and personalized rehabilitation solutions. This allows not only to significantly improve the quality of life of patients, but also to provide them with greater independence and the ability to live independently.

Transcutaneous electro neurostimulation (TENS) is the most common method of electro neurostimulation (ENS), which uses electrodes placed on the skin to stimulate the nerves. TENS can be effective in reducing pain, improving muscle strength and function, as well as stimulating neuroplasticity, being useful for rehabilitation, and preparing for prosthetics. [2]

The main advantages of TENS:

Reducing pain that may occur as a result of amputation or during the rehabilitation process. This can make patients' lives easier and contribute to their comfort while preparing for prosthetics.

Improving muscle strength and function, namely to stimulate the muscles around the amputated area to increase their strength and functionality. This can help patients prepare their muscles for the use of the prosthesis and make it easier to adapt to it.

Stimulation of neuroplasticity, that is, the ability of the nervous system to rebuild and adapt under the influence of external stimuli. This can be especially beneficial for amputees, helping them regain nerve function and allow for better integration with the prosthesis.

Preparing muscles for prosthetics by increasing muscle strength, improving movement control, and increasing sensitivity.

OVERVIEW OF EXISTING SOLUTIONS

To date, considerable experience has been accumulated in the development of technical solutions for solving such problems. Commercially available TENS devices are widely used to treat chronic pain, especially in patients with neuropathic disorders and muscle spasms. These devices are typically small, portable, and easy to use, allowing patients to self-adjust the intensity and frequency of pulses for optimal pain relief. Popular models, such as those offered by companies such as Medtronic and Boston Scientific, have already gained recognition in the market due to their efficiency and ease of use. [3] However, the cost and limited access to some

models can be a barrier to widespread adoption.

Some TENS devices are designed specifically for medical institutions, where they are used to rehabilitate patients, in particular after surgery or injury. These devices often have additional adjustments for more precise treatment control, which includes specialized programs for different types of pain and stages of recovery. One example of a specialized TENS device for medical applications is the NeuroTrac® Rehab. [4] This dual-channel device is used not only to stimulate the nervous system, but also for neuromuscular electrical stimulation. It offers ten pre-configured programs for TENS and another ten for neuromuscular stimulation.

INTEGRATION OF TRANSCUTANEOUS ELECTRICAL NERVE STIMULATION

Connecting the TENS to a pre-designed system can help users reduce pain and improve muscle control in the affected area of the body. TENS electrodes can be placed on the user's skin along the nerve pathways where EMG signals are recorded. After that, the TENS device sends electrical impulses that can stimulate muscles and nerve fibers, maintaining their functionality and speeding up the recovery process. Adjustment of TENS parameters, such as pulse intensity and frequency, can be carried out using the proposed system in a convenient and efficient way. This integrated approach can help users recover faster and more efficiently, helping them return to a more active life.

The principle of operation of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) is the application of weak electrical currents through electrodes that are attached to the skin. These electrical currents irritate nerve fibers, causing a flush sensation or blocking the transmission of pain signals to the brain. The basic idea is that nerve stimulation can block pain signals, helping to reduce pain or altering the perception of pain. [5]

During additional prosthetics, when the patient begins to restore muscle function and nerve connection in the affected area, the use of TENS can help activate this process. Regular stimulation through electrical impulses can help preserve muscle mass, prevent vasoconstriction, and reduce sensory loss in the injured area.

The use of TENS can help reduce the pain and discomfort that often accompany the period of additional prosthetics. Thus, integrating TENS into the EMG system can allow patients to receive individualized and optimized therapies that meet their specific needs and health conditions. This approach can improve rehabilitation outcomes and help patients return to normal life faster after upper limb amputation.

During TENS, pulsed electrical currents are delivered through the intact surface of the skin to activate the underlying nerves. Patients can self-administer TENS and adjust dosage as needed, as there is no risk of overdose and side effects or drug interactions are rare. The maximum analgesic effect is achieved when the TENS creates a strong, but not painful, electrical tingling. The effects usually come on quickly and disappear just as quickly, so patients are encouraged to use TENS as needed and throughout the day. Such a device will be cheaper compared to long-term drug therapy, and TENS devices can be purchased without a prescription and without a medical prescription. [6]

Integration of TENS into the rehabilitation device will allow:

Flexibly adjust stimulation parameters, meaning users will be able to individually adjust the frequency, intensity, and width of the pulse depending on their needs and specific medical advice.

Improve the effectiveness of treatment of different types of pain by changing the TENS settings, users can optimize the treatment to ensure maximum comfort and effectiveness.

Adapt therapy to different stages of rehabilitation. Depending on the patient's stage of recovery, TENS regimens can be modified to stimulate muscle recovery, reduce atrophy, or improve blood circulation.

Patients will be able to reduce their dependence on pharmacological agents by using fewer medications to control pain, which reduces the risk of side effects.

The main indication for the use of TENS is the management of pain, both acute and chronic. There are different views in scientific research on the effectiveness of TENS for certain types of pain or pain-related conditions. Although there is a significant body of work indicating that TENS is effective for neuropathic, nociceptive, and muscular pain, much of these studies have been noted for methodological remarks. [7]

CONCLUSION

Thus, integration in the work, a review and analysis of existing TENS devices was carried out, their advantages and disadvantages were considered. It has been proposed to integrate into a portable EMG device, which can be a valuable tool for rehabilitation after amputation. In the future perspective of the development of this direction, additional research is needed to practically and theoretically confirm the effectiveness of this approach.

REFERENECES

[1] O.V. Oksiutenko, Stelmakh N.V. Design of the structure diagram of the portable emg device, XV Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Погляд у майбутнє приладобудування", May 16-17, 2023, Kyiv, Ukraine, pp. 80-82.

[2] Dunford, E. & Thompson, R. (2022). Efficacy and safety of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for acute and chronic pain in adults: a systematic review and meta-analysis. BMJ Open, 12(2), e051073. https://bmjopen.bmj.com/content/12/2/e051073

[3] Verity Medical. (n.d.). NeuroTrac Rehab. Retrieved from https://veritymedical.com/product/neurotrac-rehab/

[4] Cleveland Clinic. "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS)." https://my.clevelandclinic.org/health/treatments/15840-transcutaneous-electrical-nerve-stimulation-tens

[5] Mayo Clinic. "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS)." https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/diaphragm-pacing-for-spinal-cord-injury/care-at-mayo-clinic/pcc-20393802

[6] Walsh D. (1997). TENS. Clinical applications and related theory. 1st ed. New York: Churchill Livingstone.

[7] Gibson W, Wand BM, O'Connell NE. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for neuropathic pain in adults. Cochrane Database Syst Rev. 2017 Sep 14; 9(9):CD011976.

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

УДК 004.9:624.9

Р.О. Воронков, аспірант гр. ПБ-31ф, д.т.н, проф. Безуглий М.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЯВЛЯННЯ ОБ'ЄКТІВ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ ЗА ДОПОМОГИ АРХІТЕКТУРИ YOLO

Анотація Дана робота присвячена дослідженню використання методології You Only Look Once (YOLO) для візуального виявлення та класифікації об'єктів у будівельній галузі на зображеннях та відео. Використовуючи навчальні дані будівельних майданчиків та нейронну мережу, було проведено навчання алгоритму та його тестування на відеозаписах. Результати підтвердили високу точність та швидкість виявлення цегляних стін різних типів та розмірів. Дослідження підтвердило ефективність YOLO у виявленні об'єктів у будівельній галузі, що може бути корисним для впровадження даної моделі в розробляння системи виявляння складу будівельних конструкцій.. Результат - точна візуалізація з визначеним типом поверхні об'єкту та кількісною оцінкою складу будівельної конструкції.

Ключові слова: YOLO, візуальне виявлення об'єктів, нейронні мережі, будівельна галузь, будівельні конструкції.

ВСТУП

В даній роботі представлено дослідження використання алгоритму YOLO для візуального визначення та розпізнавання об'єктів будівельної галузі на зображеннях та відео. З урахуванням зростаючої потреби у швидкій ідентифікації складу будівельних конструкцій, особливо тих, які знаходяться в аварійному стані чи втратили актуальність їх експлуатації та потребують демонтажу, постає питання щодо розроблення системи віддаленого виявляння складу будівельних конструкцій. Дана система представляє собою безпілотний засіб обладнаний сенсорними датчиками такими як LIDAR[1], лазерний інфрачервоний діод, датчик інфрачервоного випромінення, камерами видимого діапазону та програмне забезпечення для ефективного розпізнавання та обробки даних отриманих з сенсорів[2].

На поточному етапі вирішення даного питання, представляється аналіз ефективності використання алгоритму YOLO на наборі даних відібраних для навчання нейронної мережі розпізнавати та ідентифікувати конструкційні будівельні елементи.

МЕТА РОБОТИ

Дослідити процес навчання нейронної мережі з метою оцінки та визначення оптимальності результатів, отримати відомості щодо ефективності використання алгоритму YOLO [3] для візуального визначення та розпізнавання об'єктів у сфері будівництва на зображеннях та відео. Основний акцент роботи спрямований на визначення потенційних можливостей цього алгоритму у швидкій ідентифікації та класифікації будівельних елементів, зокрема тих, що перебувають у складних умовах або вимагають негайного втручання. Застосування YOLO може допомогти автоматизувати процес виявлення об'єктів на будівельних майданчиках, що сприятиме підвищенню продуктивності та безпеки будівельних робіт. В рамках роботи буде проведений аналіз результатів, отриманих відповідно до використання алгоритму YOLO на відповідних даних, щоб визначити його потенціал та переваги у визначенні та класифікації будівельних елементів.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методологія, відома як YOLO, є однією з передових концепцій у сфері комп'ютерного зору. Вона пропонує використання наскрізної нейронної мережі, яка дозволяє одночасно прогнозувати обмежувальні прямокутники та ймовірності класу для об'єктів на зображеннях. Ця парадигма має декілька переваг, серед яких варто відзначити виняткову швидкість обробки.

Основною особливістю фреймворку YOLO є його здатність виконувати виявлення об’єктів із надзвичайною ефективністю. На відміну від традиційних методів, які передбачають багатоетапні процеси, YOLO використовує уніфіковану архітектуру, що дозволяє обходити ці проміжні етапи. Цей унікальний підхід дозволяє суттєво прискорити процес виявлення об’єктів на зображеннях та відео[4].

Для тестування нейронної мережі було відібрано набір даних будівельних майданчиків на яких було зображено цегляні стіни різних розмірів та типів. Відібрані зображення у кількості 415 одиниць були промарковані та відмічені як “Brick wall”, з них 316 одиниць виконували функцію навчальних даних та 99 одиниць валідаційну. Навчання нейронної мережі відбувалось протягом 250 епох, та тривало близько 11 годин у середовищі Visual Studio Code, що дало змогу отримати достатньо обґрунтовані результати (Рисунок 1) на якому представлені графіки залежності оцінки відповідної характеристики класифікованих об’єктів від пройденої епохи навчання.

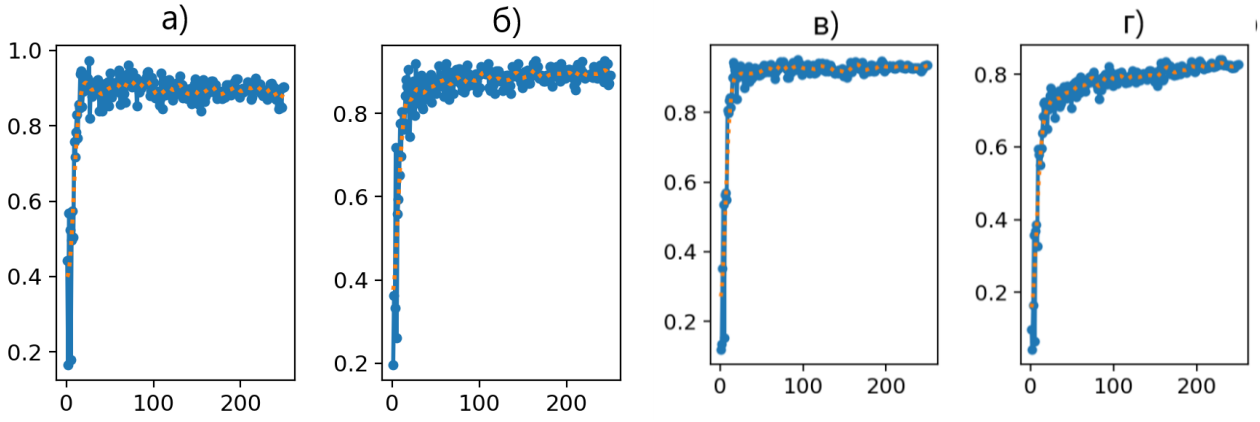


Рисунок 1 – Графіки циклу навчання нейронної мережі в 250 епох. а) – частка передбачених об'єктів класу; б) частка об'єктів класу, що була правильно знайдена моделлю; в) середня точність при пороговому значенні 0.5; г) Середня точність в діапазоні порогових значень від 0.5 до 0.95

На даному рисунку видно, що починаючи в середньому з 20-ї ітерації модель розпізнає заданий об’єкт з досить високою вірогідністю[5]. У таблиці 1 представлений опис характеристик навернених на рисунку 1. Так ми бачимо, що модель у 90% випадків класифікує правильно об’єкт, у 89% модель помічає на зображенні цегляні стіни. Оцінка моделі середньої ефективності розпізнавання цегляних стін на зображенні з оцінкою вище 0.5 складає 94% а оцінка середньої точності по пройдених епохах з урахуванням точності 0.5-0.95 складає 81% відсоток.

Таблиця 1- результати навчання нейронної мережі[6]

Назва характеристики	Значення	Опис
metrics/precision(B)	90%	Оцінює, наскільки часто модель класифікує об'єкти як цегляні стіни на фотографіях тренувального набору. Високе значення вказує на те, що модель рідкісно помиляється.
metrics/recall(B)	89%	Оцінює, наскільки рідкісно модель пропускає цегляні стіни на фотографіях тренувального набору. Високе значення вказує на те, що модель рідкісно пропускає цегляні стіни..
metrics/mAP50(B)	94%	Оцінює загальну ефективність розпізнавання цегляних стін на фотографіях тренувального набору з урахуванням різних рівнів точності локалізації. Високе значення вказує на те, що модель загалом успішно розпізнає цегляні стіни.
metrics/mAP50-95(B)	81%	Оцінює середню точність розпізнавання **цегляних стін** з урахуванням різних рівнів точності локалізації.

Перевірка результатів навчання нейронної мережі була здійсненна за допомоги відеозапису на якому було зображено будівельний майданчик облаштований цегляними стінами. При тривалості відео у 25 секунд, обробка відео для сегментації об'єктів тривала в середньому 40 секунд, що можна вважати прийнятним часом обробки, враховуючи складність завдання та точність результатів. На рисунку 2 та 3 можна спостерігати результати обробки відео за допомоги алгоритмів YOLO. Значення біля назви об'єкту вказує на точність ідентифікації, з якої модель допускає, що сегментований нею об'єкт дійсно цегляна стіна. Наприклад, на рисунку 2 точність ідентифікації для цегляної стіни з id:5 становить 95% та стіни з id:2 93%. Отримані результати свідчать про перспективність використання даної моделі для автоматизації завдань сегментації об'єктів.

Рисунок 2 - зображення одержане за результатами сегментації об'єктів

Рисунок 3 - зображення одержане за результатами сегментації об’єктів

ВИСНОВКИ

На основі проведеного дослідження можна зробити висновок про ефективність та перспективність використання методології (YOLO) у сфері візуального виявлення та класифікації об'єктів будівельної галузі на зображеннях та відео. Результати навчання нейронної мережі на наборі даних будівельних майданчиків підтвердили високу ефективність алгоритму YOLO у виявленні цегляних стін різних розмірів та типів. Застосування YOLO дозволило отримати значні результати у визначенні об'єктів з високою точністю та швидкістю, що підтверджує його переваги порівняно з традиційними методами комп'ютерного зору.

Аналіз отриманих даних показав, що навчання нейронної мережі викликало позитивні зміни у її здатності правильно ідентифікувати цегляні стіни на зображеннях та відео. Модель демонструє високу точність у виявленні та класифікації об'єктів, забезпечуючи значну ефективність у вирішенні завдань сталого розвитку у будівництві [7] та візуального аналізу будівельних конструкцій.

Отже, наші дослідження підтвердили, що методологія YOLO є потужним інструментом для виявлення об'єктів у будівельній галузі. Цей підхід може бути використаний для розробки систем віддаленого моніторингу та аналізу будівельних об'єктів, що сприятиме підвищенню продуктивності та безпеки в будівельних проектах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Building a circular economy: The role of information transfer/ — Режим доступу :DP_the_role_of_information_transfer.pdf (epc.eu) / — 01.12.2023 р.

[2] Воронков Р. О. СИСТЕМА ВИЯВЛЯННЯ СКЛАДУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БЕЗПІЛОТНИМИ ЗАСОБАМИ / Р. О. Воронков, М. О.

Безуглий. // Збірник праць XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень ц приладобудування». – 2023. – С. 101–104;
[3] Haritha, M. Harshini, S. Patil and J. Philip, "Real Time Object Detection using YOLO Algorithm," 2022 6th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, Coimbatore, India, 2022, pp. 1465-1468;
[4] Joseph R. YOLO9000: Better, Faster, Stronger / R. Joseph, A. Farhadi. // University of Washington , Allen Institute for AI — 01.04.2024 p.;
[5] Yolo-v3 and Yolo-v2 for Windows and Linux [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://github.com/AlexeyAB/darknet#when-should-i-stop-training — 01.04.2024 p;
[6] Ultralytics YOLOv8 Docs [Електронний ресурс] // ultralytics.com. – 202. – Режим доступу до ресурсу: https://docs.ultralytics.com/reference/utils/metrics/ - — 01.05.2024 p;
[7] Адаменко А.В. Вторинне використання будівельних відходів / — Режим доступу : https://eprints.kname.edu.ua/46772/1/ilovepdf_com-234-235.pdf / — 01.12.2023 p

УДК 630.2

С.В. Грибан, студент гр. ПБ-31мн, асис. 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. 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

Лісові ресурси є невід'ємною частиною земної еко системи будь-якого регіону. Вплив негативних факторів на ліси призводить до втрати їх продуктивності навіть вимирання. Ці фактори слід перш за все виключити адже антропогенні навантаження катастрофічні, природно-техногенні та природні процеси, мають велику сферу впливу цих факторів зі значною глибиною впливу.

В Україні зазвичай аналізується існуючий стан лісових ресурсів, в якому не надають належної ролі розробці методів прогнозування його змін з метою планування майбутніх лісозахисних заходів. Дані що надходять від дистанційного моніторингу лісових угідь. Вони надають нові можливості дослідникам і екозахисникам при вивченні стану лісових умов як конкретного регіону так і всіх лісових угідь держави.

Тому розвиток техніки моніторинг динаміки стану на даний момент лісових ресурсів відповідно до використання матеріалів відео і фотографії та методів їх дешифрування достатньо актуальні напрями наукових досліджень. В зв’язку з подіями які відбуваються в нашій державі на сьогоднішній час це один з безпечних методів дослідження, який дає можливість забезпечити дослідникам максимальну безпеку і доступність до тих чи інших ділянок території лісу, дотримуючись безпечних відстаней від зони бойових дій.

ОПИС РОБОТИ

В сучасних реаліях найчастіше для вирішення проблеми моніторингу лісових угідь створюють автоматизовані системи їх моніторингу (АСМЛУ). АСМЛУ – це системи які створенні на основі використання програмно-апаратного комплексу, що поєднує в собі різноманітні системи раннього виявлення зміни стану, а саме виявленні лісових пожеж на ранній стадії. Використання такої системи дозволяє зменшити витрати коштів на ліквідацію лісових пожеж, і зменшити площу пожеж лісових угідь, що в свою чергу зменшує час на відновлення пошкодженої ділянки лісу, відновлення еко системи.

Основою АСМЛУ є використання камер відеоспостереження, що встановленні різноманітних об’єктах в лісовому господарстві і є складковою частиною телекомунікацій. Камери виявляють в реальному часі дим над лісовими масивами. Система визначає автоматично координувати і передавати дані в центр управління. Отже, можна запобігти пожежі на стадії займання.

Система моніторингу лісового господарства складається з двох частин: апаратне та програмне забезпечення.

Апаратна частина – це керована сенсорна мережа спостереження (камери, тепловізори, інфрачервоні камери тощо).

Програмна частина – це спеціальне програмне забезпечення (ПЗ), яке використовується для моніторингу, що дозволяє операторам контролювати ліси в режимі реального часу і визначити координати пожежі. Останнє передбачає, що система може виявляти пожежі на початковій стадії – стадії займання, що дозволяє попереджати про надзвичайні ситуації.

Для роботи системи використовується існуюча система інфраструктури мобільного оператора (вежі стільникового зв'язку, обладнання зв'язку, сервісна команда тощо). Таку систему легко розширювати та поширювати, вона підходить для виявлення лісових пожеж на малих і великих територіях.

Використання спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє максимально автоматизувати процес виявлення критичних подій, що можуть призвести до утворення джерела займання та значно зменшити час на реагування службами МНС, координувати їх переміщення в зону можливого утворення лісової пожежі.

Функціонально АСМЛУ може виявляти пожежу від «вогнища» на відстані до 12 км, і виявити пожежу площею понад 10 га, на відстані до 44 км. Точність визначення в напрямку на об'єкт: 0,25 градуса.

Точність місцезнаходження вогнища займання: +/- 200 м. Час, необхідний на огляд однієї точки моніторингу: ~ 5 хвилин.

На рисунку 1.1 показана архітектура автоматизованої системи моніторинг лісового господарства.[1-4]

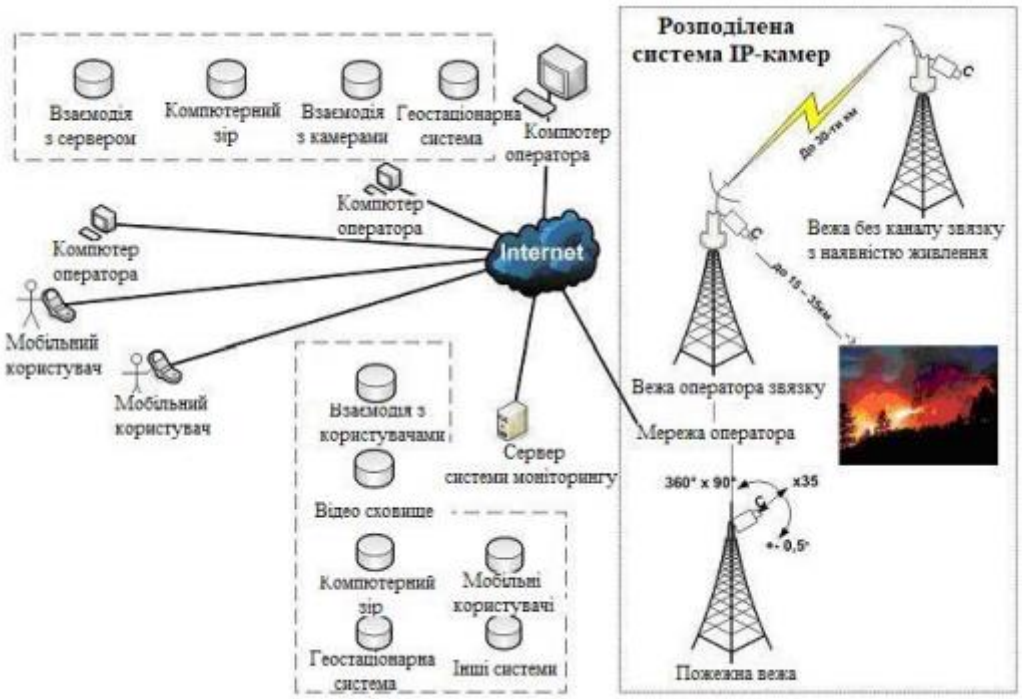


Рисунок 1.1 - Архітектура автоматизованої система моніторингу лісового господарства [2].

Основні характеристики автоматизованої система моніторингу лісового господарства (рис. 1.1):

– похибка визначення координат осередку займання – до 200 метрів;

– радіус огляду однієї точки моніторингу – до 28 км;

– точність визначення напрямку на осередок займання – 0.25°;

– час для огляду однієї точки – 5 хвилин (залежить від обладнання що використовується);

– опрацювання та облік метеорологічних даних;

– опрацювання та облік супутникових даних;

– опрацювання даних із сторонніх інформаційних систем;

– можливість оперативного масштабування та розширення системи для збільшення площі моніторингу;

– необмежена кількість користувачів з доступом до системи;

– оперативне отримання інформації на мобільних пристроях;

– автоматичне виявлення потенційно небезпечних об'єктів: диму та полум'я.

Інформаційна система АСМЛУ працює на основі сучасних технологій:

– комп'ютерного зору;

– IP відеоспостереження;

– бездротовий широкосмуговий зв'язок;

– геоінформаційних систем (ГІС);

– клієнт-серверних Internet-додатків.[2]

Загальна структура інформаційної системи спостереження (рис. 1.2) включає низку комплексів обробки, передачі та зберігання інформації, які дають змогу аналізувати фактичні умови та ситуації на території конкретного лісогосподарського підприємства та приймати рішення.

У разі виникнення надзвичайної ситуації в лісовому господарстві (пожежа, повінь) автоматизовані системи можуть своєчасно інформувати аварійні служби та навколишнє населення про загрози, що виникають на даній території.

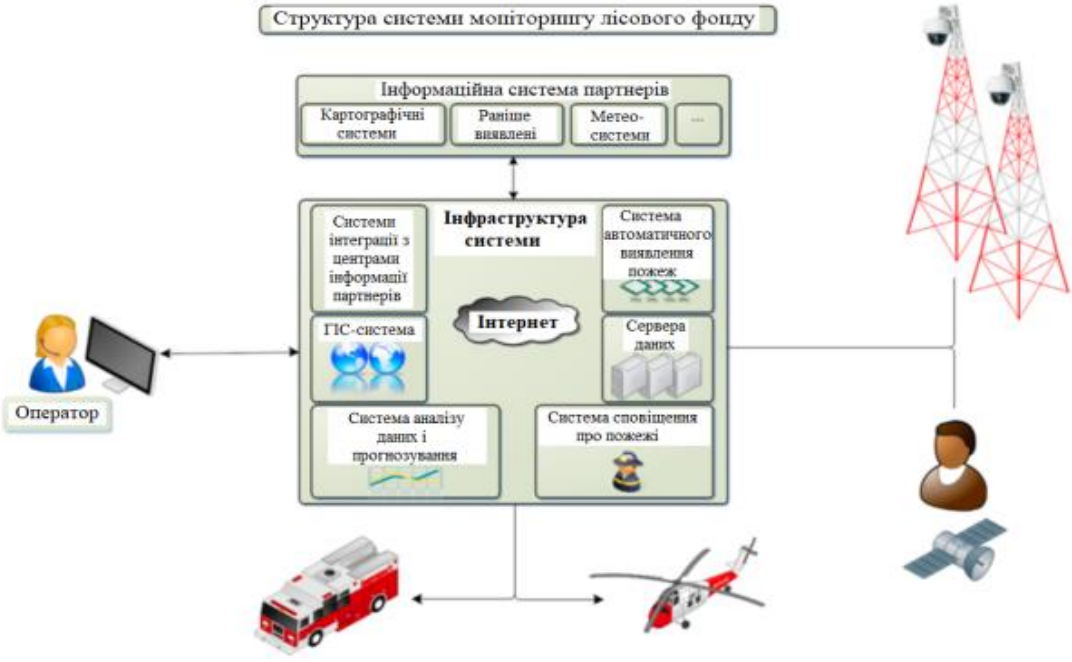


Рисунок 1.2 – Загальна структура АСМЛУ [2]

Для забезпечення надійного виявлення диму, слід вибрати відповідний цифровий зум та необхідно ретельно підібрати відповідне цифрове збільшення. Веб-камера позиціонується за допомогою крокового двигуна з точністю не

менше 0,1°, координати можуть бути виявлені і точно визначені.

Канали пожежного зв'язку та передача даних повинні бути організовані високошвидкісними пристроями зі швидкістю не менше 1 Гбіт. Захист інформації та якість системи забезпечується вибором спеціалізованого та надійного приймально-передавального обладнання.

ВИСНОВОК

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. Запропонована система моніторингу лісових угідь за допомогою якою можливе своєчасне виявлення шкідливих факторів, і засоби впливу на них.

Для забезпечення моніторингу лісових угідь запропоновано автоматизовану систему на основі використання програмно-апаратного комплексу, яка включає апаратну та програмну частини.

Для організації відеоспостереження на підконтрольних територіях використані IP-відеокамери та захищена передача інформації в зону спостереження використані захищені канали передачі інформації на пункти моніторингу лісових пожеж.

Запропонована новітня система та обґрунтувана ефективності апаратного та програмного забезпечення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Potter, Kevin M.; Conkling, Barbara l., eds. 2019. Forest health monitoring: national status, trends, and analysis. gen. tech. rep. srs-239. Asheville, nc: u.s. department of agriculture, forest service, southern researchstation. 2018

[2] М.О. Гупаловський, Автоматизована система екологічного моніторингу лісових господарств, *ЗНУ Тернопіль ст.11-25., 2022*

[3] В.Б. Левченко, І.В. Шульга, А.А. Романюк, Лісопатологія з основами моніторингу, *Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, – 268 с. , 2020*

[4] Д.С. Катрук ВЕБ додаток для ведення геоінформаційної бази даних стану лісових угідь, *КПІ ім. І.* Сікорського ст.12-18 2022.

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

УДК 681.625.8

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

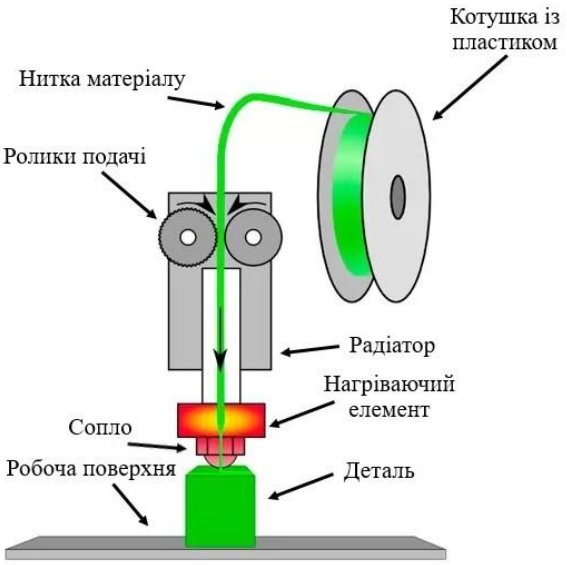
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАРВНИКА НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМОПЛАСТИКУ PLA В ТЕХНОЛОГІЇ FDM 3D-ДРУКУ

Анотація. В роботі розглянуто метод FDM 3D-друку. Описано характеристики деталі, що досліджується, та процес проведення дослідження. Наведено параметри матеріалу, налаштування програми-слайсера, діаграми з результатами проведених досліджень.

Ключові слова: 3D-друк, FDM, колір, PLA, матеріал, термопластик.

ВСТУП

Моделювання плавленого осадження (FDM) є однією з найбільш використовуваних технологій адитивного виробництва (AM) завдяки своїй низькій вартості та простоті застосування. У процесі FDM термопластична нитка надходить до екструдера, де нагрівається до напіврідкого стану за допомогою нагрівального блоку та подається через сопло на будівельну площину XY. Матеріал видавлюється шар за шаром у напрямку осі Z. Команди переміщення та параметри друку надаються файлом G-коду, створеним за допомогою програми-слайсеру (рис. 1).



Якість і механічні характеристики друкованих продуктів залежні від багатьох параметрів і факторів, починаючи від характеристик та хімічного складу самого матеріалу та параметрів 3D-друку до факторів навколишнього середовища. До параметрів друку належать наступні: схема та щільність заповнення, напрямок друку, висота шару, температура сопла та робочої поверхні, діаметр сопла, ширина екструзії, повітряний зазор, наявність матеріалу-підтримки тощо [1], [2].

В даний час на ринку доступно багато різних матеріалів для технології 3D-друку FDM, включаючи PLA, ABS, нейлон, полікарбонат, поліетилен високої щільності, ударостійкий полістирол тощо. PLA став одним із найпопулярніших серед користувачів FDM 3D-принтерів. Полілактатна кислота є природним полімером, отриманим з відновлюваних джерел, таких як крохмаль, який рослини синтезують під час фотосинтезу. PLA має відносно низьку температуру плавлення, 150°-160° C, тому для друку з цим матеріалом потрібна менша потужність нагрівача. Крім того, PLA є безпечнішою альтернативою токсичному ABS-пластику, є більш зручним для друку матеріалом і має значно вищі механічні властивості, ніж більшість інших пластмас, за винятком деяких видів полікарбонату, нейлону та композитних сумішей [3].

ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою цього дослідження є дослідження впливу барвника матеріалу (пластикової нитки) на механічні властивості готового продукту. Для виготовлення зразків використовувався матеріал PLA компанії eSun. Властивості даного матеріалу, наведені виробником, представлені в таблиці 1 [4].

Таблиця 1. Параметри матеріалу

Параметр	Значення
Мінімальна висота шару	0,16 мм
Товщина стінки	0,4 мм
Щільність заповнення	100 %
Швидкість друку	Від 300 мм/с
Температура сопла	210 - 230 ˚C
Температура друкарської поверхні	45 - 60 ˚C

Крім того, виробник дає однакові характеристики незалежно від обраного кольору. Діаметр матеріалу нитки становить 1.75мм, зазначені допуски діаметру становлять ±0,06 мм округлість ≥ 95%.

Для дослідження обрано 14 різних кольорів матеріалу PLA: зелений, синій, білий, помаранчевий, рожевий, червоний, золотий, сірий, срібний, флуоресцентний зелений (GD), жовтий, чорний, коричневий, фіолетовий. Для кожного кольору було підготовлено 3 різні тестові зразки відповідно до ДСТУ EN ISO 527-2. Зразки виготовлені на настільному 3D-принтері Creality K1C, кожен зразок друкувався в однакових умовах із 100% заповненням. G-код підготовлено за допомогою програми-слайсера Creality Slice. Зразки друкуються з «плоскою» орієнтацією друку та кутом растру 45˚.

Загалом, надруковано 42 зразки, які було піддано випробуванню на розтяг відповідно до стандарту ДСТУ EN ISO 527-2. Дослідження проведено за допомогою машини для розтягування Shimadzu AGS-X 100kNX. Вона здатна випробовувати зразки зі швидкістю до 0,001 мм/хв, з точністю вимірювання +/- 0,5 Н. Висока частота дискретизації (1мс) забезпечує високу точність отриманих значень [5].

РЕЗУЛЬТАТИ

Під час випробувань зареєстровано властивості на розтягування, такі як модуль пружності, межа міцності на розтяг (UTS), межа текучості та в'язкість. Результати наведені в діаграмах рис. 2– 5.

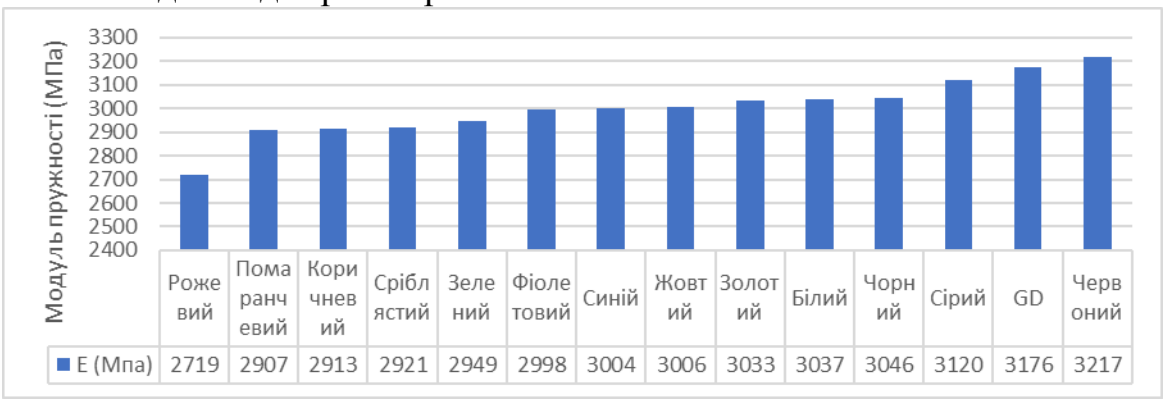


Рис. 2. Вплив кольору матеріалу на модуль пружності.

Залежно від кольору матеріалу, модуль пружності змінюється від 2719 МПа до 3217 МПа. Матеріал червоного кольору дає найвищий модуль пружності (3217 МПа), а рожевий колір - найнижчий (2719 МПа).

Рис. 3. Вплив кольору матеріалу на межу текучості.

На діаграмі рис. 3. видно, що не існує якогось кольору, який має переважний вплив на межу текучості. Параметр змінюється від 30 МПа до 41 МПа залежно від кольору. Матеріал із червоним кольором дав найвищу межу текучості - 41 МПа, а рожевий колір дав найнижчу межу текучості - 30 МПа.

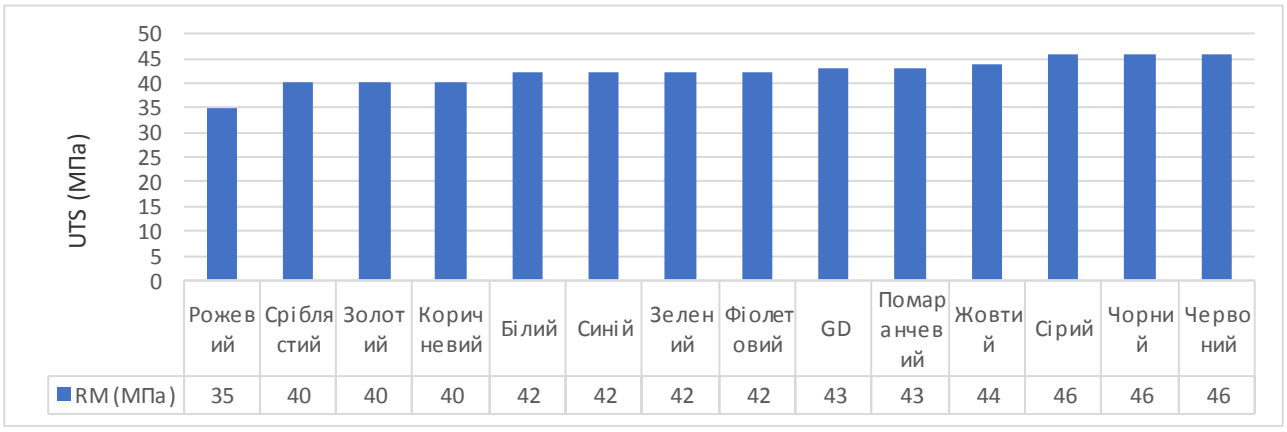


Рис. 4. Вплив кольору матеріалу на межу міцності на розрив.

На діаграмі рис. 4 видно, що не існує якогось кольору, який сильно впливає на параметр UTS, Із дослідження, UTS змінюється від 35 МПа до 46 МПа залежно від кольору. Матеріал червоного кольору дав найвищий показник UTS - 46 МПа, в той час як рожевий колір - найнижчий - 35 МПа.

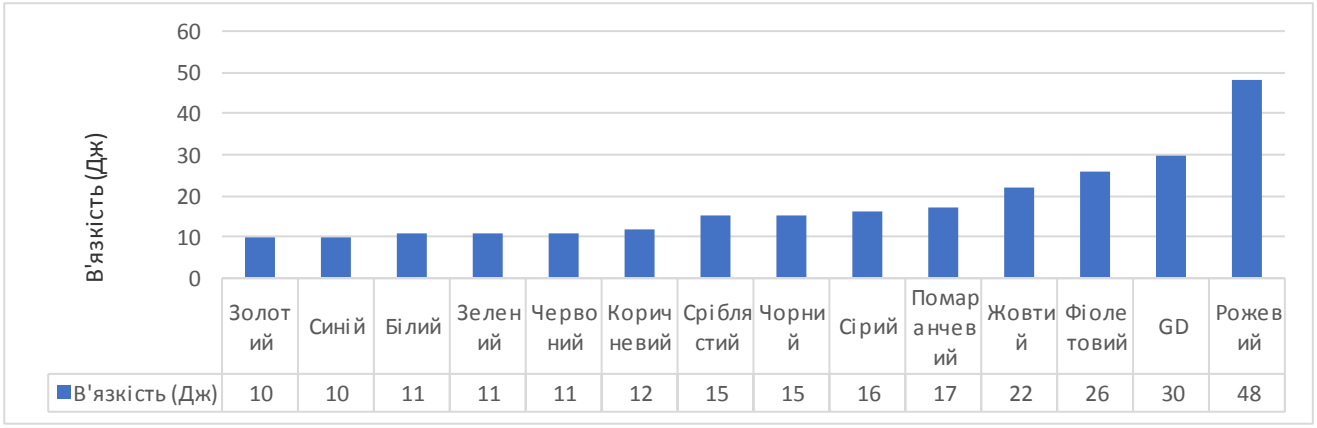


Рис. 5. Вплив кольору матеріалу на в'язкість.

У цьому дослідженні в'язкість розраховується по поверхні за діаграмою напруження-деформації кожного зразка. Колір матеріалу впливає на в'язкість як показано на діаграмі вище (рис. 5.) Значний вплив на в'язкість мають жовтий, фіолетовий, GD та рожевий кольори. Міцність коливається від 10 Дж до 48 Дж. Рожевий колір дав найвищу міцність - 48 Дж, а синій - найнижчу - 10 Дж.

ВИСНОВОК

Враховуючи значну кількість виробників термопластиків для FDM 3D-принтерів, постає необхідність докладного аналізу матеріалів, який вони пропонують. Як одна із складових хімічного складу матеріалу PLA, барвник теж вносить свою частку впливу на майбутні фізико-механічні характеристики друкованої деталі.

Після тестування, було отримано наступні результати впливу барвника:

- Колір матеріалу PLA має незначний вплив на значення модуля пружності. Параметр варіюється від 2719 МПа до 3217 МПа.
- Колір матеріалу PLA майже не має впливу на значення межі текучості. Параметр варіюється від 30 МПа до 41 МПа.
- Колір матеріалу PLA майже не має впливу на значення межі міцності на розрив. Параметр варіюється від 35 МПа до 46 МПа.
- Колір матеріалу PLA майже не має впливу на значення в'язкості, за деякими винятками. Параметр варіюється від 10 Дж до 48 Дж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Qattawi A., Alafghani A., Alrawi B., Guzman A. Experimental Optimization of Fused Deposition Modelling Processing Parameters: A Design-for-Manufacturing Approach. Режим доступу: URL: https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.079

[2] Jap N. S. F.; Pearce G. M.; Hellier A. K.; Russell N.; Parr W. C. & Walsh W. R. (2019), The Effect of Raster Orientation on the Static and Fatigue Properties of Filament Deposited ABS polymer, International Journal of Fatigue, Vol. 124., Липень 2019, 328-337, ISSN 0142-1123

[3] Byberg K. I.; Gebisa A. W., Lemu H.G., Mechanical Properties of ULTEM 9085 Material Processed by Fused Deposition Modeling, Polymer Testing, Vol. 72, Грудень 2018, 335-347, Режим доступу: URL: https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.10.040

[4] eSun PLA/PLA+, Специфікація на матеріал: веб-сайт. Режим доступу: URL: https://www.esun3d.com/pla-pro-product/

[5] Shimadzu AGS-X 100kNX, Precision Universal / Tensile Tester, Специфікація на установку: веб-сайт. Режим доступу: URL: https://www.shimadzu.com/an/products/materials-testing/uni-ttm/autograph-ags-x-series/spec.html

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

УДК 612.88:616-77

Ю.В. Лобур, аспірант гр. ПБ-31ф, к.т.н, доц. Вонсевич К.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ МАНІПУЛЯЦІЇ БІОНІЧНОГО ПРОТЕЗУ РУКИ

Анотація: У роботі розглянуто принципи реалізації системи розпізнавання форми об'єктів у складі біонічного протезу руки. Запропоновано застосування оптико-електронного каналу вимірювання інформації у складі функціональної схеми такої системи, визначено особливості використання технологій машинного зору та алгоритмів штучних нейронних мереж для подальшого аналізу виміряних зображень. Проведено практичні дослідження по реєстрації набору зображень із предметами різної форми та структури на декількох вимірювальних відстанях, з метою їх подальшого розпізнавання нейромережевим алгоритмом.

Ключові слова: біонічний протез, розпізнавання форми, оптико-електронний модуль, машинний зір, мікропроцесорне керування.

ВСТУП

Завдання з відновлення функціональних можливостей пацієнтів з ампутаціями верхніх та нижніх кінцівок, отриманих внаслідок травм мінно-вибухового чи іншого характеру є актуальним вже впродовж кількох десятиліть. Незважаючи на значні досягнення у сфері протезування та загальний розвиток технологій, досі повністю невирішеним залишається ряд задач, особливо у категорії біонічних протезів рук. Тут необхідність відтворення тонкої моторики природної кінцівки ставить перед розробниками набір із досить амбітних цілей, як пов'язаних з біомеханікою руху протезу, так із можливістю відтворення у ньому природної чутливості кінцівки.

Зокрема, одним з важливих аспектів, щодо можливого підвищення функціональності таких пристроїв є розпізнавання ним форми об'єктів маніпуляції з якими повинна взаємодіяти штучна кінцівка, з метою подальшої реалізації надійного охвату предметів, запобіганню їх прослизання з пальців протезу, тощо. Для вирішення подібного роду завдань можуть використовуватись різні технічні рішення, одним з яких може бути інтеграція оптико-електронних модулів для розпізнавання форми об'єктів до складу протезу. Використовуючи технології штучного інтелекту і датчики технічного зору, дослідникам вдається досягати значних успіхів у покращенні технічних можливостей подібних систем. Наприклад, у роботі [1] запропоновано підхід до розпізнавання форми, заснований на поєднанні декількох видів пропріоцептивних датчиків, які розміщуються в різних ділянках фаланг пальців роботизованої кінцівки та в результаті генерують набір сигналів, виміряних у різному положенні робо-руки в просторі. В подальшому такі сигнали використовуються для створення за допомогою алгоритмів машинного навчання пропріоцептивної сигнатури форми, яка залишається незмінною щодо розміру предметів, якими повинна маніпулювати кінцівка. Ще одним прикладом подібних досліджень є розпізнавання форми об'єктів шляхом реалізації гібридної апаратно-програмної системи для візуального обслуговування протезу руки, представлена в роботі [2]. Тут застосовується технологія комп'ютерного бачення для керування протезом. Недоліком такого технічного рішення є обов'язкове використання додаткових пристроїв (окулярів з набором оптичних датчиків), що не є фактичною частиною біонічного протезу. Це збільшує

загальну вартість системи, а також ускладнює процес навчання і адаптації користувача до користування протезом.

Основне завдання цієї роботи полягає у дослідження авторами можливості ефективного застосування універсальних, загальнодоступних оптико-електронних сенсорів, як можливого інструменту для інтегрування в загальну систему біонічного протезного пристрою.

ПРОЕКТУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО МОДУЛЮ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ

Вибір компонентної бази вимірювального модулю для системи розпізнавання форми об'єктів, здійснювався авторами, базуючись на принципах реалізації "комп'ютерного бачення". Для виявлення об'єктів та їх габаритів досить часто застосовується комбінація із персонального комп'ютеру та набору камер, які в подальшому дозволяють визначати класи об'єктів, на яких навчається система (за допомогою технік машинного навчання [3, 4]). Як основний оптико-електронний модуль для проведення вимірювань, в дослідженні було використано ESP32-CAM. Це універсальний і компактний пристрій, який поєднує в складі однієї вимірювальної системи внутрішній контролер, Wi-Fi та Bluetooth інтерфейси передачі інформації і модуль 2MP камери, що робить його зручним інструментом для реєстрації набору зображень об'єктів у режимі реального часу. Базуючись на попередніх роботах авторів, для проведення експериментального дослідження та подальшого виготовлення прототипу вимірювальної схеми, було розроблено функціональну схему системи розпізнавання об'єктів маніпуляції протезу, що містить в своєму складі запропонований оптико-електронний модуль на основі ESP32-CAM (рис. 1).

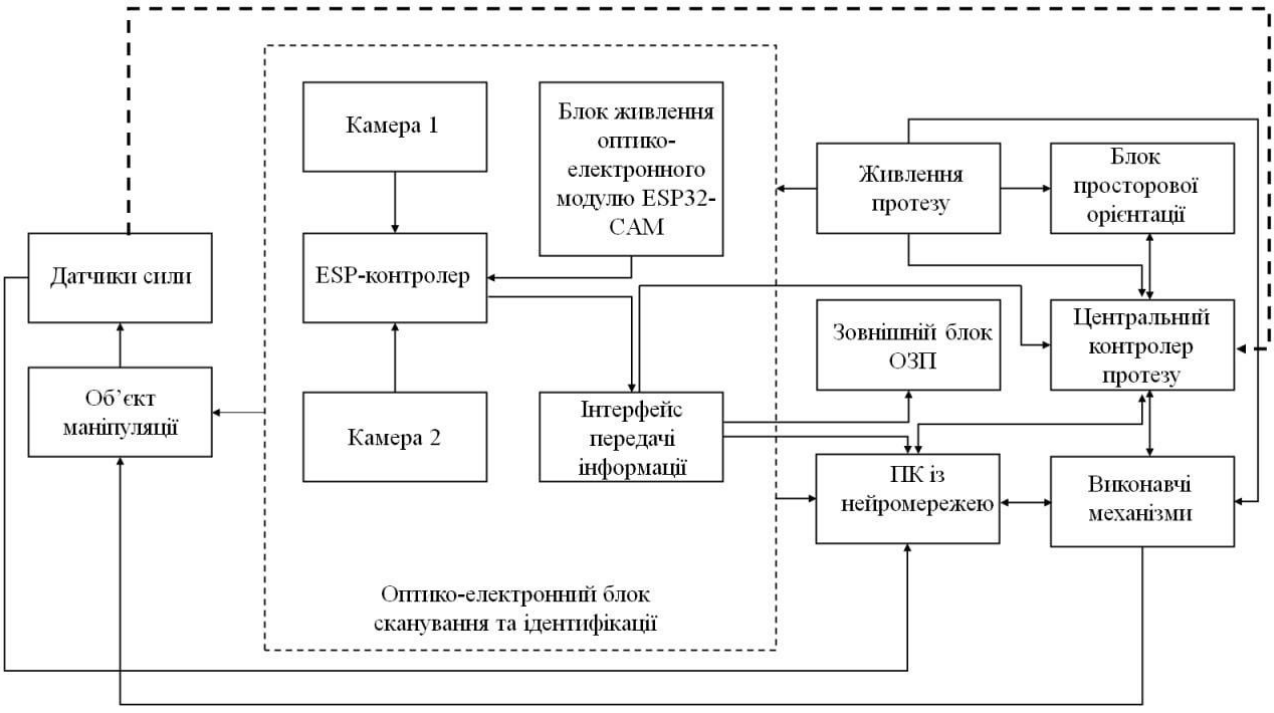


Рисунок 1. Функціональна схема системи розпізнавання на основі оптико-електронного модулю ESP32-CAM.

Як видно з рисунку, запропонована функціональна схема являє собою комбіновану систему реєстрації набору оптичних зображень із оптико-електронного каналу, а також датчиків тиску і просторового положення протезу для його орієнтування у просторі та визначення сили з якою пальці штучної кінцівки охоплюють об'єкт, після попереднього розпізнавання його форми. Тут оптичний блок сканування складається з двох вбудованих камер оптико-електронного модулю ESP32-CAM, що отримують візуальну інформацію про об'єкт маніпуляції із двох точок вимірювального простору. Цей блок живиться від окремої батареї оптико-електронного модуля і може передавати необроблений набір зображень на зовнішній блок ОЗП, що підключений до центрального МК біонічного протезу, або на ПК із програмним забезпеченням, яке містить штучну нейронну мережу, розроблену для обробки зображень. На ПК отримані зображення конвертуються в необхідний для роботи нейромережевого алгоритму формат, після чого безпосередньо застосовуються як вхідні дані для тренування і тестування мережі.

На основі запропонованої функціональної схеми та обраного оптико-електронного пристрою для реєстрації зображень, було проведено набір експериментальних вимірювань із предметами різної форми у двох ракурсах (рис. 2), при їх розташуванні на трьох робочих відстанях.

Рисунок 2.Приклад отриманих зображень з камери оптико-електронного модулю ESP32-CAM. (a) Зображення предмету, вид з верху 30 см. (b) Зображення предмету, вид з боку 30 см. (c) Зображення камери оптико-електронного модулю ESP32-CAM.

Згідно з умовами експерименту, відстані від камери (рис. 2.c) до об'єкту дослідження складали 70 см, 30 см і 15 см в горизонтальній площині та 60 см, 40 см і 30 см у вертикальній площині. Водночас, в якості об'єктів маніпуляції було обрано десять предметів різної форми, розмірів та матеріалів. Суть вимірювань полягала в отриманні набору чорно-білих SVGA-зображень із оптико-електронного каналу розміром 800×600, для базових предметів які може використовувати користувач протезу в повсякденному житті, з метою їх подальшої обробки за допомогою ШНМ, базуючись на принципах комп'ютерного зору. При цьому, враховуючи необхідність подальшої інтеграції запропонованого оптико-електронного каналу до автономної системи керування біонічної руки, яка має обмежений машинний ресурс на основі мікропроцесору, авторами планується розробка алгоритму розпізнавання форми об'єктів маніпуляції на основі отриманих зображень, що дозволить задавати подальшу траєкторію руху виконавчих механізмів протезу, базуючись на простих геометричних формах об'єктів сканування.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У цій роботі авторами було розглянуто особливості розпізнавання форми об'єктів маніпуляції для біонічної руки, шляхом впровадження оптико-електронного модулю реєстрації зображень, як одного з вимірювальних каналів загальної системи протезу. Зокрема, визначено основні підходи і методи до розпізнавання форми об'єктів у технологіях машинного зору, коротко розглянуто принципи застосування штучних нейронних мереж у аналізі зображень. Запропоновано функціональну схему системи розпізнавання форми на основі оптико-електронного каналу вимірювання інформації, описано принцип роботи такої схеми та обрано частину компонентної бази для її реалізації. За допомогою модулю ESP32-CAM проведено експериментальні вимірювання та реєстрацію набору зображень із об'єктами маніпуляції біонічного протезу в декількох ракурсах та на різній початковій відстані до предметів різної форми. В подальших роботах авторами планується розробка алгоритму обробки зображень для побудови контурів форми об'єкту на основі простих геометричних фігур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Vásquez, A., & Perdereau, V. (2017). Proprioceptive shape signatures for object manipulation and recognition purposes in a robotic hand. Robotics and Autonomous Systems, 98, 135–146. — Режим доступу : doi:10.1016/j.robot.2017.06.001.

[2] Citation: Fejér, A.; Nagy, Z.; Benois-Pineau, J.; Szolgay, P.; de Rugy, A.; Domenger, J.-P. Hybrid FPGA–CPU-Based Architecture for Object Recognition in Visual Servoing of Arm Prosthesis. J. Imaging 2022, 8, 44. — Режим доступу : https://doi.org/ 10.3390/jimaging8020044.

[3] Vonsevych, K. (2024). Myographic System of the Bionic Wrist with Surface Type Identification. In: Bezuglyi, M., Bouraou, N., Mykytenko, V., Tymchyk, G., Zaporozhets, A. (eds) Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control, vol 511, pp. 193-231. Springer, Cham.

[4] K.P. Vonsevych, M.A. Bezuglyi, and O.A. Prytula, "Optical feedback based on photometry by ellipsoidal reflector in bionic fingers application", KPI Science News, no. 3, pp. 63 – 72, 2019.

Наук. керівник – к.т.н, доцент Вонсевич К.П.

УДК 612.682

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

GPSS – ЯК ЗАСІБ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Анотація. В роботі розглянуто основи та практичні аспекти використання імітаційного моделювання дискретного виробництва. Встановлено, що для реалізації імітаційного моделювання доцільно використовувати систему GPSS. Приведено проблеми і задачі, що можуть бути вирішені за допомогою системи GPSS. Вказано переваги використання імітаційного моделювання для діагностики та оптимізації дискретного виробництва.
Ключові слова: виробничий процес, дискретне виробництво, імітаційне моделювання, система GPSS, етапи імітаційного моделювання, діагностика і оптимізація виробництва, підвищення продуктивності.

ВСТУП

У сучасному світі дискретне виробництво відіграє ключову роль у розвитку промисловості, вимагаючи високої точності та ефективності виробничих процесів. Однією з основних викликів є забезпечення оптимального використання ресурсів при збереженні гнучкості в умовах змінних ринкових вимог.

Дискретне виробництво характеризується виробництвом окремих одиниць або партій продукції, часто з великою різноманітністю та складністю. Аналіз стану моделювання виробничих процесів в приладобудування, що представлено в різноманітних джерелах, дозволив встановити основні напрямки вдосконалення та покращення роботи виробничих процесів, де основним засобом їх реалізації є імітаційне моделювання.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Імітаційне моделювання є ключовим інструментом в аналізі та оптимізації виробничих процесів, особливо у дискретному виробництві, де кожен процес може мати різноманітні змінні та складні взаємодії. Ця методика дозволяє відтворювати процеси в контрольованому цифровому середовищі, що сприяє глибшому розумінню системи та ідентифікації потенційних покращень.

Імітаційне моделювання використовує математичні та статистичні моделі для відтворення реальних процесів, дозволяючи аналізувати їх поведінку під різними умовами. Зокрема, у дискретному виробництві моделювання допомагає визначити оптимальні параметри для кожної окремої операції, враховуючи час, витрати, доступність ресурсів та інші критичні фактори [1].

Імітаційне моделювання сприяє не тільки розумінню процесів, але й є важливим інструментом для їх діагностики та оптимізації. Воно дозволяє ідентифікувати проблемні зони, такі як затримки виробництва, надлишкові витрати або неефективне використання ресурсів. Завдяки детальному моделюванню, можна протестувати різні стратегії управління, не вдаючись до фізичних змін на виробництві, що значно знижує ризики та витрати.

Аналіз засобів імітаційного моделювання виробничих процесів показав, що на їх ринку доступна велика кількість систем, які застосовуються у різноманітних галузях, в тому числі і в приладобудуванні. Перевагою даних систем є їх гнучкість і можливість їх використання для різних виробництв.

Серед систем, що використовуються на сьогодні, можна виділити AnyLogic, Plant Simulation, Arena та GPSS. Вказані системи є інструментами моделювання виробничих систем, тому виникає задача створення методики їх використання для імітаційного моделювання технологічних процесів в приладобудуванні.

На основі наведених висновків аналізу роботи виробничих систем в приладобудуванні поставлено наступні задачі досліджень:

– обрати ефективний метод опису та моделювання виробничих процесів;

– представити особливості використання вибраного методу – системи для моделювання дискретних виробничих систем;

Система General Purpose Simulation System (GPSS) є однією з найбільш ефективних та широко використовуваних систем для імітаційного моделювання в промисловості. Ця система дозволяє детально відтворити складні виробничі процеси та оцінити їхні ключові параметри, виявляючи можливі "вузькі" місця та оптимізуючи поточні операції.

Встановлено, що система моделювання GPSS є методом аналізу та дослідження складних процесів і систем за допомогою комп'ютерного моделювання їхнього поведінки в реальному часі. У дискретному виробництві, де процеси складаються з окремих подій та операцій, імітаційне моделювання використовується для аналізу та оптимізації різних аспектів виробництва [2].

Моделювання процесів за допомогою цієї системи включають такі основні етапи:

– формалізація проблеми: визначення мети моделювання та параметрів виробничих процесів;

– розробка моделі: створення комп'ютерної моделі процесу;

– валідація моделі: перевірка коректності та адекватності моделі;

– експерименти та аналіз: виконання різних сценаріїв та оцінка їхнього впливу на систему.

Після створення моделі можна провести експерименти для визначення оптимальних стратегій управління та виробництва, а також для виявлення можливих проблем та їхнього усунення [3].

ВИСНОВКИ

Встановлено, що імітаційне моделювання дискретного виробництва має декілька переваг, серед яких:

– можливість відтворення реальних умов: модель може точно відображати реальні виробничі процеси та умови;

– ефективність та економія часу: моделювання дозволяє швидко та ефективно виявляти оптимальні стратегії без необхідності проведення реальних експериментів;

– можливість аналізу альтернативних сценаріїв: модель дозволяє випробувати різні сценарії та вибрати найбільш ефективний або оптимальний.

Система GPSS може ефективно вирішувати різноманітні проблеми, що виникають у дискретному виробництві, від зниження витрат до підвищення продуктивності.

Розглянемо деякі з найбільш типових проблем та викликів, які можуть бути

вирішені за допомогою імітаційного моделювання у системі GPSS:

– оптимізація процесу виробництва: GPSS дозволяє моделювати різні варіанти виробничих процесів та виявляти оптимальні стратегії для забезпечення максимальної продуктивності та ефективності виробництва;

– управління запасами: імітаційне моделювання у GPSS дозволяє ефективно аналізувати та оптимізувати рівень запасів, що дозволяє уникнути надмірного або недостатнього запасу матеріалів;

– планування виробництва: GPSS може бути використаний для моделювання різних сценаріїв планування виробництва та визначення оптимального графіка роботи обладнання та персоналу;

– оцінка пропускної здатності: за допомогою GPSS можна визначити пропускну здатність виробничої лінії та виявити "вузькі" місця, що обмежують продуктивність;

– моделювання різних сценаріїв: GPSS дозволяє випробувати різні стратегії та сценарії виробництва без ризику реальних втрат або простою обладнання.

За допомогою GPSS можна ефективно вирішувати ці проблеми та виклики, що дозволяє підвищити продуктивність та знизити витрати у дискретному виробництві [4].

Таким чином, звіряючи теоретичні концепції з практичним застосуванням у дослідженні використання системи GPSS для оптимізації дискретного виробництва, можна зробити висновок, що імітаційне моделювання є потужним інструментом для аналізу та управління виробничими процесами. Система GPSS дозволяє не лише ефективно моделювати складні виробничі системи, але й знаходити оптимальні рішення для підвищення продуктивності та зниження витрат. Отже, використання GPSS у дискретному виробництві має великий потенціал для покращення конкурентоспроможності підприємств і забезпечення їхнього стабільного розвитку у сучасному економічному середовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). Simulation modeling and analysis. McGraw-Hill.

[2] Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2009). Discrete-event system simulation. Pearson.

[3] Robinson, S. (2004). Simulation: The practice of model development and use. Wiley.

[4] Medhi, J. (2001). Discrete event simulation: A first course. Prentice Hall.

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

УДК 004.9:621.9

С.О. Полуектов, аспірант гр. ПБ-31ф, к.т.н., доц. Безугла Н.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРОГРАМНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРМИ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИХ РЕФЛЕКТОРІВ

Анотація. У даній роботі представлені результати розробки та реалізації блоку оптимізації геометрично форми порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів за допомогою проведення модельних досліджень трасувальних властивостей бічної поверхні на масиві ЕР з різним значенням ексцентриситету, що надало функціонал для мінімізації аберацій у другій фокальній площині.

Ключові слова: еліпсоїдальний рефлектор, САПР, автоматизована система, параметри форми, комп'ютерне моделювання.

ВСТУП

Популярність асферичних рефлекторів в оптичних системах стає все більшою через їхні унікальні властивості [1]. Завдяки специфічній формі, такі рефлектори можуть замінювати декілька стандартних лінз або рефлекторів, зменшуючи кількість елементів у системі і спрощуючи конструкцію оптичної системи [2, 3].

Одним з перспективних представників асферичної оптики є еліпсоїдальний рефлектор (ЕР) з внутрішньою відбиваючою поверхнею [4]. Головною особливістю геометричної форми еліпсоїда, є наявність двох фокусів, які розташовані на однаковій відстані від центра еліпсоїда та формують дві фокальні площини. Ця особливість надає унікальні можливості для застосування в багатьох галузях, таких як оптика, астрономія, біомедична інженерія, тощо [4 – 6].

В сучасній оптичній індустрії проектування асферичних рефлекторів є однією з ключових складових для створення високоефективних та точних оптичних систем [2]. Однак, цей процес часто супроводжується рядом складнощів, які вимагають спеціалізованих рішень та технологій для їх вирішення.

Однією з основних проблем виготовлення еліпсоїдальних рефлекторів є складність проектування та аналізу асферичних дзеркальних поверхонь [7]. Крім того, важливим завданням є зменшення впливу аберацій за допомогою оптимізації геометричної форми ЕР, завдяки визначенню відхилення координат точок перетину променями другої фокальної величини в залежності від величини ексцентриситета та розміру фокального кола. У зв'язку з цим виникає необхідність в створенні систем автоматизованого проектування (САПР) порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів з можливістю оптимізації геометричної форми.

МЕТА РОБОТИ

Реалізація блоку оптимізації параметрів форми в системі автоматизованого проектування еліпсоїдальних рефлекторів.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Більшість програмних забезпечень для автоматизованого проектування та аналізу геометричної форми оптичних елементів не мають спеціалізованих можливостей для моделювання ЕР, тому для вдосконалення було обране програмне забезпечення RTER 2.0 [6].

Геометрична форма порожнистого ЕР визначається за допомогою величини великої та малої піввісі, співвідношення яких називається ексцентриситетом *e* та характеризує наскільки форма еліпсоїда відрізняється від кулі. Ексцентриситет еліпсоїда впливає на розташування фокальних площин, які перпендикулярні до головної вісі, яка перетинає їх в точці фокуса [5].

На рис. 1 зображено інтерфейс програмного забезпечення RTER 2.0. з доданим блоком оптимізації геометричної форми ЕР.

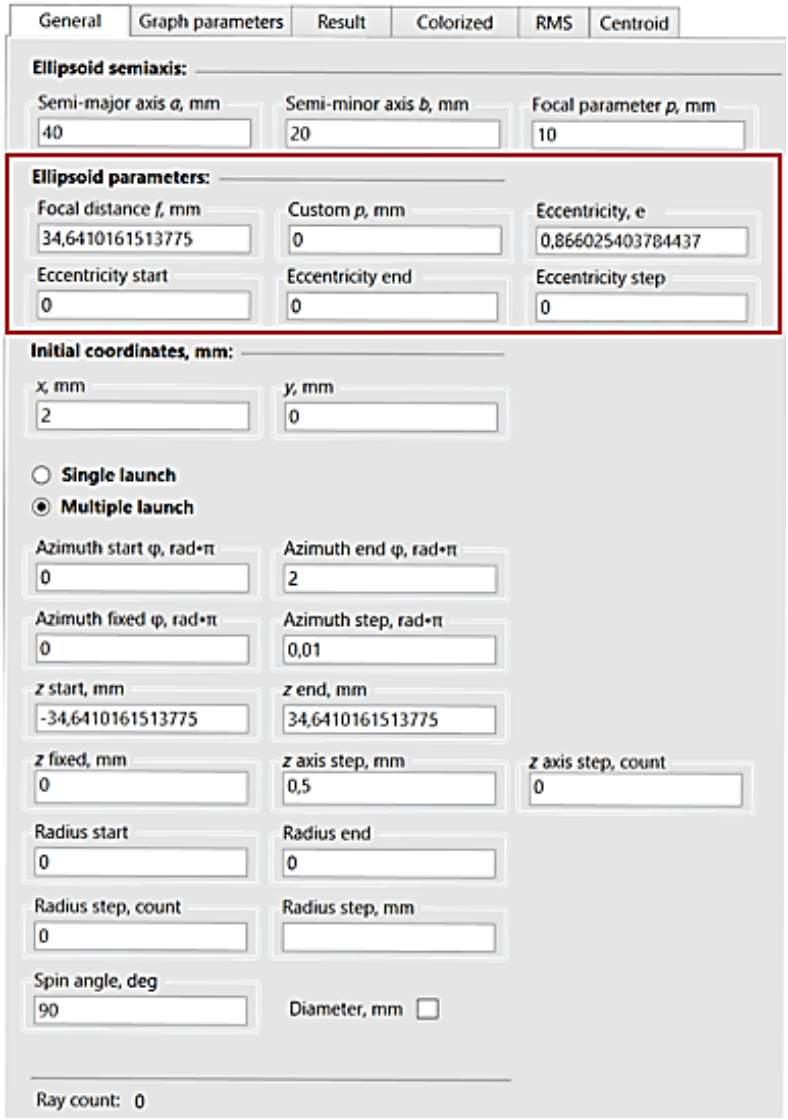


Рисунок.1 Інтерфейс програмного забезпечення RTER 2.0. з доданим блоком оптимізації параметрів форми порожнистих еліпсоїдальних рефлекторів

На головному вікні RTER 2.0. розділу «Ellipsoid parameters» було додано комірки: «Custom p, mm» – комірка для вводу та фіксації величини фокального кола; «Eccentricity start», «Eccentricity end» – комірка для налаштування інтервалу досліджуваного ексцентриситету ЕР $e \in [0; 1]$; «Eccentricity step» – комірка вводу кроку ексцентриситету у заданому інтервалі.

Аналіз геометричної форми ЕР відбувається завдяки трасуванню променів з фіксованими параметрами запуску променів та масивом еліпсоїдів з різним значенням ексцентриситету в межах заданого інтервалу з заданим кроком та фіксованим діаметром фокального кола. Наявність такої функціональної можливості дозволить провести абераційний аналіз трасувальних властивостей внутрішньої бічної поверхні та обрати

оптимальні геометричні параметри, які призводять до мінімазації аберацій, які виникають через те, що світловий промінь, який виходить з першої фокальної площини, має різний радіус кривизни залежно від його положення на поверхні еліпсоїда [6]. Це може призводити до розмиття та зміни координат його виходу в другій фокальній площині.

Через проведення модельних досліджень одразу на декількох ЕР з різною геометричною формою постала проблема налаштування кроку зенітного кута променів трасування, який визначався за допомогою відстані вздовж великої вісі еліпсоїда, величина якої буде змінюватись при зміні ексцентриситету. Тому було додано комірку «z axis step, count» в яку вводиться кількість кроків розбиття, тим самим забезпечуючи однакову кількість зенітних кутів для всіх ЕР що досліджуються.

ВИСНОВКИ

Реалізовано блок оптимізації геометричних параметрів форми еліпсоїдальних рефлекторів за допомогою проведення модельних досліджень на масиві ЕР з різним значенням ексцентриситету, та вибором величини фокального кола, що дозволить мінімізувати вплив аберацій через вибір оптимальних параметрів ЕР. У подальшому планується впровадження блоку автоматизованого 3D моделювання ЕР різних конфігурацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Zhu, Deyan & Wang, Fang & Li, Ping & Li, Ming. (2020). Research on hybrid compensation testing of convex aspherical mirror. Optics and Lasers in Engineering. 132. 106108. 10.1016/j.optlaseng.2020.106108.

[2] Zeng, Chunmei & Yu, Jingchi. (2006). Research on the mechanism of shaping an aspherical mirror. 61492X-61492X. 10.1117/12.674300.

[3] Conquet, Bernardo & Zambrano, L. & Artyukhina, N. & Fiodortsev, R. & Silie, A.. (2018). Algorithm and mathematical model for geometric positioning of segments on aspherical composite mirror. Devices and Methods of Measurements. 9. 234-242. 10.21122/2220-9506-2018-9-3-234-242.

[4] Bezugla N.V., Yakovenko I.O., Filippova M.V., Poluektov S.O. «Automated system for photometric images processing of scattering spot» / *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*//– Том 34 (73), № 3, – 2023, – С.64-71. DOI:10.32782/2663-5941/2023.3.1/11.

[5] Безугла Н. В., Полуектов С. О., Чорний В. О., Безуглий М. О. «Монте-карло симуляція світлорозсіяння шарами шкіри людини методами просторової фотометрії» /*Вісник КПІ. Серія Приладобудування : збірник наукових праць./* – 2021. – Вип. 61(1). – С. 91-100. – Бібліогр.: 26 назв. DOI: 10.20535/1970.61(1).2021.237112.

[6] Poluektov S.O., Bezugla N.V., Kurowska-Wilczyńska K., Bezuglyi M.O. «Information system for multi-vector raytracing in ellipsoidal reflectors» / *Вісник КПІ. Серія Приладобудування : збірник наукових праць.*// – 2023. – Вип. 65(1). – С. 19-28. – Бібліогр.: 25 назв. DOI: 10.20535/1970.65(1).2023.283215.

[7] Jorge Angeles, Damiano Pasini, «Fundamentals of Geometry Construction: The Math Behind the CAD (Springer Tracts in Mechanical Engineering)», /Springer; 1st ed./, – 2020. – 188 p.

УДК 681.5.004.4.92

К.А. Романенко, аспірант гр. ПБ-31ф, д.т.н., проф. Безуглий М.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ПОЛЯРИМЕТРА

Анотація. У роботі представлено інтерфейс програми програмного забезпечення, призначеного для обробки зображень мультиспектрального поляриметра, функціонал якого призначений для проведення геометричного калібрування, суміщення кадрів зображення та його аналізу. Система призначена для використання з мультиспектральними імейдж Стокс поляриметрами (МСІП), що вираховують параметри поляризації з чотирьох або трьох зображень. Зроблено висновки щодо інтерфейсу та функціоналу програми, визначено наступні кроки роботи над системою, а саме проведення експериментального дослідження функціонування системи та оцінки точності коригування зображень отриманих від поляриметра.

Ключові слова: мультиспектральний поляриметр, обробка зображень, аналіз зображень, автоматизована система, програмне забезпечення, поляризація, параметри Стокса.

ВСТУП

Недоліки у виготовленні та монтажі оптичних елементів можуть спричиняти спотворення положення об'єктів на отриманих зображеннях від поляриметра. Ці спотворення впливають на точність та надійність отриманих даних під час подальшого аналізу зображення. Для коригування спотворень зображення, що виникають у оптичній системі через недоліки її елементів, необхідно здійснювати геометричне калібрування поляриметра [1].

Автоматизована система обробки зображень мультиспектрального поляриметра призначена для використання з мультиспектральними імейдж Стокс поляриметрами(МСІП), у яких параметри поляризації вираховуються з чотирьох або трьох зображень у поляризованих променях[2]. Дана система дозволяє проводити геометричне калібрування поляриметра та коригувати розташування пікселів зображень для отримання коректних даних при їх наступному аналізі[3].

Геометричне калібрування проводиться за допомогою методу, що базується на аналізі зображення контрольного стенду з набором світлових міток. Аналізуючи зображення з мітками, система визначає їх центри та відхилення від істинного значення, при цьому за істинне значення приймаються центри міток першого кадру. Кожний кадр є зображенням окремого оптичного каналу поляриметра, кількість кадрів залежить від кількості оптичних каналів. На основі отриманих центрів та їх відхилень визначається інтерполяційні двомірні функції коригування пікселів зображення, дані функції отримуються для координат пікселя x та y окремо. Отримані функції використовуються для визначення відхилення кожного пікселя від істинного значення та на базі отриманих відхилень коригують розташування пікселів зображення. Після суміщення пікселів кожного кадру система дозволяє провести аналіз зображення та отримати параметри Стокса, фазових кутів та кутів розсіювання.

ІНТЕРФЕЙС ПРОГРАМИ

Функціонал програми передбачає наступні можливості:

- Завантаження кадрів від МСІП у ручному режимі;
- Отримання зображення безпосередньо від МСІП;

- Проведення геометричного калібрування МСІП та виведення результатів калібрування;
- Проведення коригування зображення від МСІП за допомогою інтерполяційних функцій;
- Отримання параметрів Стокса, фазових кутів та кутів розсіювання пікселів кадру;
- Обрання режиму роботи системи: калібрування або коригування зображень;
- Введення кількості оптичних каналів МСІП;
- Введення кількості міток на контрольному стенді.

Загальний інтерфейс програми наведено на рисунку 1. Інтерфейс програми має дві кнопки для завантаження зображення у програму – «Завантажити фото» та «Зробити фото». Кнопка «Завантажити фото» дозволяє користувачу додати до програми зображення, що вже були зроблені поляриметром та поділені на кадри, що відповідають каналам МСІП, кнопка «Зробити фото» - отримує зображення безпосередньо від МСІП та ділить його на кадри. Надалі кнопки «Провести калібрування» та «Відобразити результат калібрування» дозволяють запустити алгоритм геометричного калібрування зображень МСІП та відобразити результат калібрування МСІП, відповідно. Кнопка «Провести коригування зображень» запускає алгоритм, що коригує розташування пікселів зображень за отриманими інтерполяційними функціями на етапі калібрування. Кнопка «Отримати параметри Стокса, фазові кути та кути розсіювання» аналізує зображення та прораховує параметри Стокса, фазові кути та кути розсіювання. За замовчанням усі наведені вище кнопки є неактивними до моменту вибору режиму роботи системи. У свою чергу, режим роботи обирається зі списку, що має два режими: режим калібрування та режим коригування, рисунок 2. При обраному режимі калібрування кнопка «Провести калібрування» стає активною для користувача, а кнопка «Відобразити результат калібрування» стає активною тільки після завершення процесу калібрування. У свою чергу, при обраному режимі коригування зображення, кнопка «Провести коригування зображень» стає активною для користувача, проте, якщо система не має у своїй базі інтерполяційних функцій коригування зображень, то користувач не може запустити процес коригування зображень. Кнопка «Отримати параметри Стокса, фазові кути та кути розсіювання» також стає активною при обраному режимі коригування зображення, проте вона не враховує, чи була проведена до цього коригування зображень, так як даний функціонал є незалежним модулем системи. Також інтерфейс програми передбачає можливість введення кількості оптичних каналів поляриметра, що враховуються при поділі зображення на кадри при безпосередньому отримані зображення від МСІП, та кількості міток контрольного стенду, що враховуються при процесі знаходження центрів міток, для того, щоб система могла розуміти чи всі мітки на кадрі зображення були визначенні вірно. Нижче полів для вводу відображаються зображення, що були отримані для наступної роботи системи, а у правій частині відображаються зображення отримані після калібрування та коригування розташування пікселів.

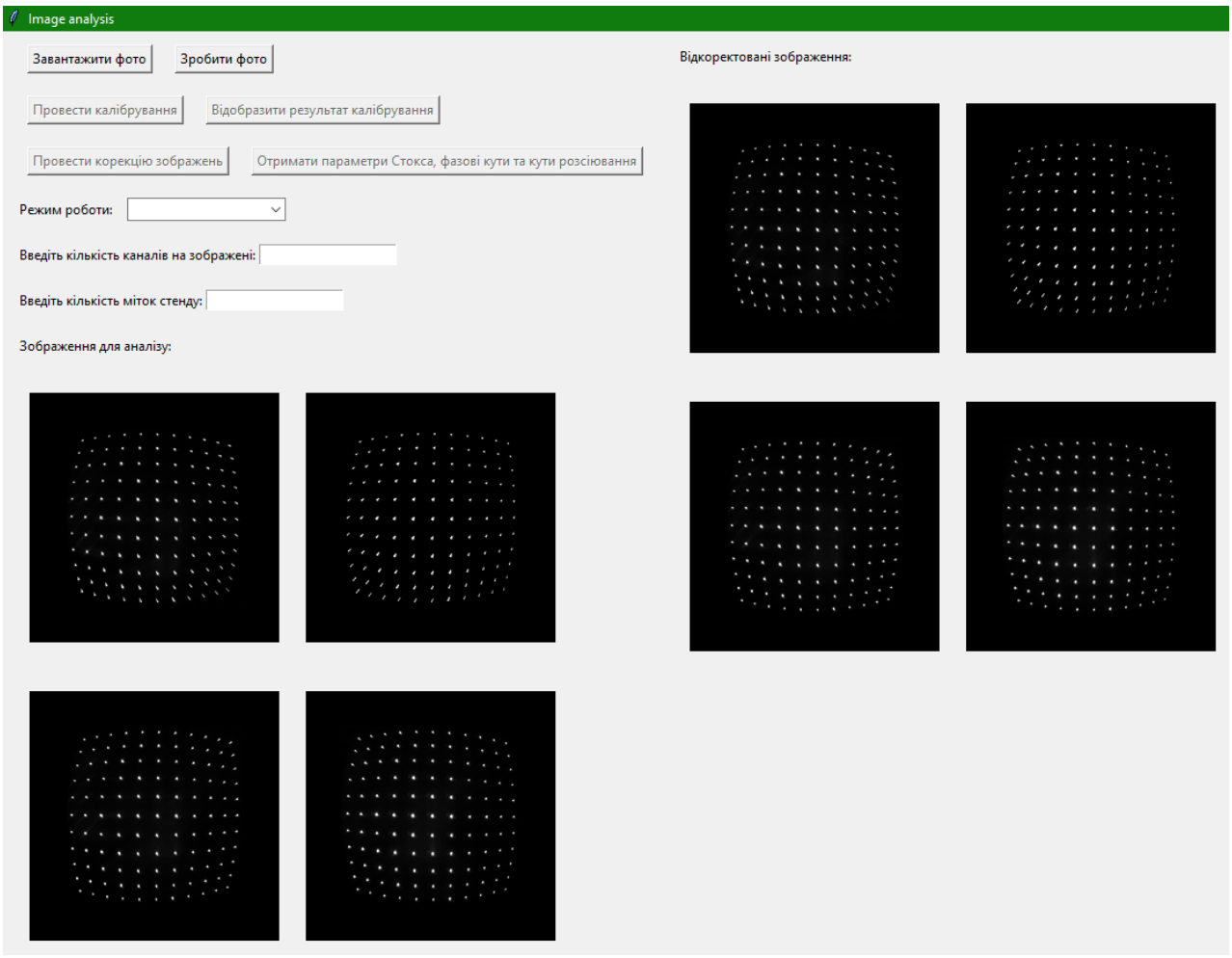


Рис. 1 Інтерфейс програми

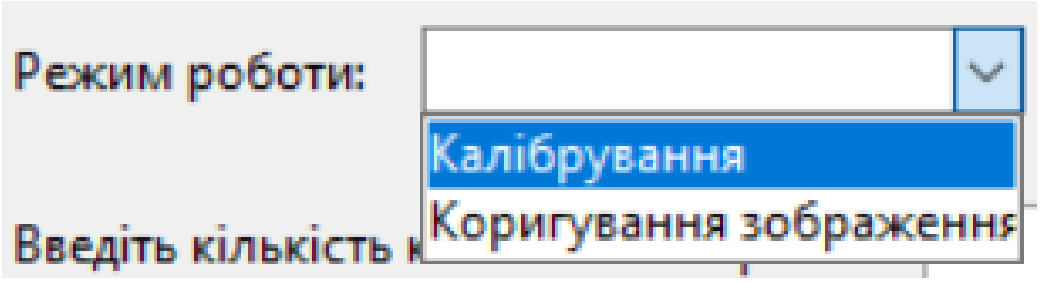


Рис. 2 Режими роботи системи

ВИСНОВКИ

Запропоновано інтерфейс програмного забезпечення автоматизованої системи мультиспектрального поляриметру для отримання та обробки зображень, що дозволяє проводити геометричне калібрування, коригування пікселів кадрів зображення та аналіз кадрів для визначення параметрів Стокса, фазових кутів та кутів розсіювання. Наведено головний функціонал програми, що передбачає можливість завантажити зображення від поляриметру, провести геометричне калібрування та коригування зображень, отримати параметри Стокса, фазових кутів та кутів розсіювання при наступному аналізі відкоригованих зображень. Надалі планується провести експериментальне

дослідження функціонування системи та оцінку точності коригування зображень від поляриметра.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Syniavskyi, I., Oberemok, Y., Danylevsky, V., Bovchaliuk, A., Fesianov, I., Milinevsky, G., та інші. (2021). Aerosol-UA satellite mission for the polarimetric study of aerosols in the atmosphere. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 267(No. 267).

[2] Syniavskyi, I. I., et al. (2013). PANORAMIC STOKES-POLARIMETER. Ecological Newsletter of BSEC Research Centers, Vol. 4, P. 1–6.

[3] К.А. Романенко, М.О. Безуглий, «Передумови створення автоматизованої системи обробки зображень мультиспектрального поляриметра» на XIX Науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та Автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 2023, с. 150-154.

УДК 612.7:616-71

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

БАГАТОКАНАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ФОРС-МІОГРАФІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Анотація: У роботі розглянуто принципи проведення міографії для вимірювання активності м'язів руки людини. Детально описано особливості форс-міографічного методу досліджень, сенсори та засоби для його реалізації. Запропоновано функціональну схему багатоканального вимірювального пристрою, визначено його основну компонентну базу та представлено перший прототип для постановки практичного експерименту.

Ключові слова: Форс-міографія, силові датчики, медична діагностика, активність м'язів, біонічне протезування.

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть спостерігається стрімкий розвиток технологій, пов'язаних зі сферою роботизованого протезування кінцівок. Одним із ключових аспектів, що впливають на практичне застосування подібних пристроїв є ефективність системи вимірювання та аналізу біологічних сигналів тіла пацієнта, яка входить до складу протезу. Чим точніше така система визначатиме активність певної групи м'язів, що відповідає за конкретний рух і класифікуватиме виміряний набір сигналів відповідно до можливих кінцевих варіантів, тим ефективніше користувач протезу може виконувати запланований набір маніпуляцій. Активність відповідної групи м'язів можна реєструвати за допомогою різних класичних методів вимірювання біологічних сигналів (таких як електроміографія, ультразвукова діагностика, тощо [1, 2]), однак усе більшого розповсюдження у сфері протезування верхніх кінцівок набуває метод силової міографії. Силовою (або форс-міографією) називають неінвазивну методику визначення зусилля чи руху досліджуваної кінцівки, на основі зміни жорсткості відповідної групи м'язів відносно їх початкового стану [1]. Основний принцип проведення ФМГ є подібним до техніки пальпації, яку лікар використовує для ідентифікації активності м'язів кінцівки, проте в цьому випадку зміни жорсткості м'язів реєструються спеціальними сенсорами тиску, які розміщують над відповідною групою м'язів, на поверхні шкіри пацієнта. Водночас, побудова пристрою для одночасного вимірювання форс-міографічних сигналів відразу в декількох зонах активності м'язів кукси, що дозволить проводити багатоканальну реєстрацію та подальший розрахунок корисних характеристик міо-сигналу, залишається актуальним завданням.

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ФОРС-МІОГРАФІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Одним із основних завдань ФМГ-досліджень є те, як перетворити показники жорсткості м'яза в цифрові дані для подальшої обробки. Для цього зазвичай обирають один із спеціальних силових перетворювачів. Як правило, більшість датчиків для ФМГ будуються на резистивній полімерно-тонкоплівковій технології (RPTF), яка дозволяє проводити реєстрацію сигналів за допомогою як силових чутливих резисторів (FSR), Flexiforce датчиків, індивідуальних тензорезистивних масивів та матриць із чутливих RPTF сенсорів. Окрім того, у якості чутливого елемента при подібних дослідженнях використовують також

пневматичні, п'єзоелектричні, ємнісно-оптичні та текстильні датчики [2]. При безпосередньому проведенні вимірювань для верхніх кінцівок, чутники зазвичай розміщують навколо проксимальної та середньої частин передпліччя. У випадку дослідження рухів долоні чи пальців руки пацієнта цю область вважають ключовою для вимірювання ФМГ-сигналу, оскільки саме тут знаходяться основні зовнішні м'язи згиначів та розгиначів. Для прогнозування рухів нижніх кінцівок силові датчики розташовують як правило на стегнах, рідше на гомілках людини.

Окрім вибору відповідного сенсору та його подальшого розміщення у вимірювальній зоні, для проведення ФМГ-досліджень необхідно реалізувати також і відповідну електричну схему, яка може включати одразу декілька вимірювальних каналів, елементи фільтрування, підсилення, оцифровування і подальшого аналізу сигналів. Прогнозування рухів кінцівки, що відповідають виміряному набору міографічних кривих, зазвичай здійснюється шляхом класифікації сформованого набору сигналів за допомогою методів машинного навчання. До таких можна віднести лінійний дискримінантний аналіз, штучні нейронні мережі, метод дерев рішення, опорних векторів, а також різноманітні алгоритми визначення показників регресії [3, 4]. Базуючись на описаній вище інформації, авторами було розроблено багатоканальний вимірювальний пристрій для проведення форс-міографічних досліджень, що в подальшому буде використаний у системі керування біонічної кінцівки.

РОЗРОБЛЕНЕ ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ

Функціональна схема розробленого пристрою для ФМГ-вимірювань активності м'язів руки представлена на рис. 1. У випадках, коли пацієнт виконує один із рухів долонею, гнучкі чутники вимірювального каналу деформуються, що відображається у вигляді вихідної зміни показників опору та амплітуди сигналу з сенсору. Інформація кожного із шести сенсорів надсилається до подальшої схеми обробки з операційним підсилювачем та аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП), а в подальшому аналізується та зберігається в складі мікроконтролера. Окрім того, з метою подальшого визначення набору характеристик для виміряних сигналів і їх класифікації, інформація про ФМГ-сигнали м'язів може надсилатись на ПК як через дротове з'єднання, так і через безпровідний Bluetooth (або інший інтерфейс) передачі інформації. Тут може застосовуватись окреме програмне забезпечення для збереження каталогу досліджень у вигляді текстових файлів та додаткового тренування алгоритмів класифікації сигналів згідно з набором рухів кінцівки.

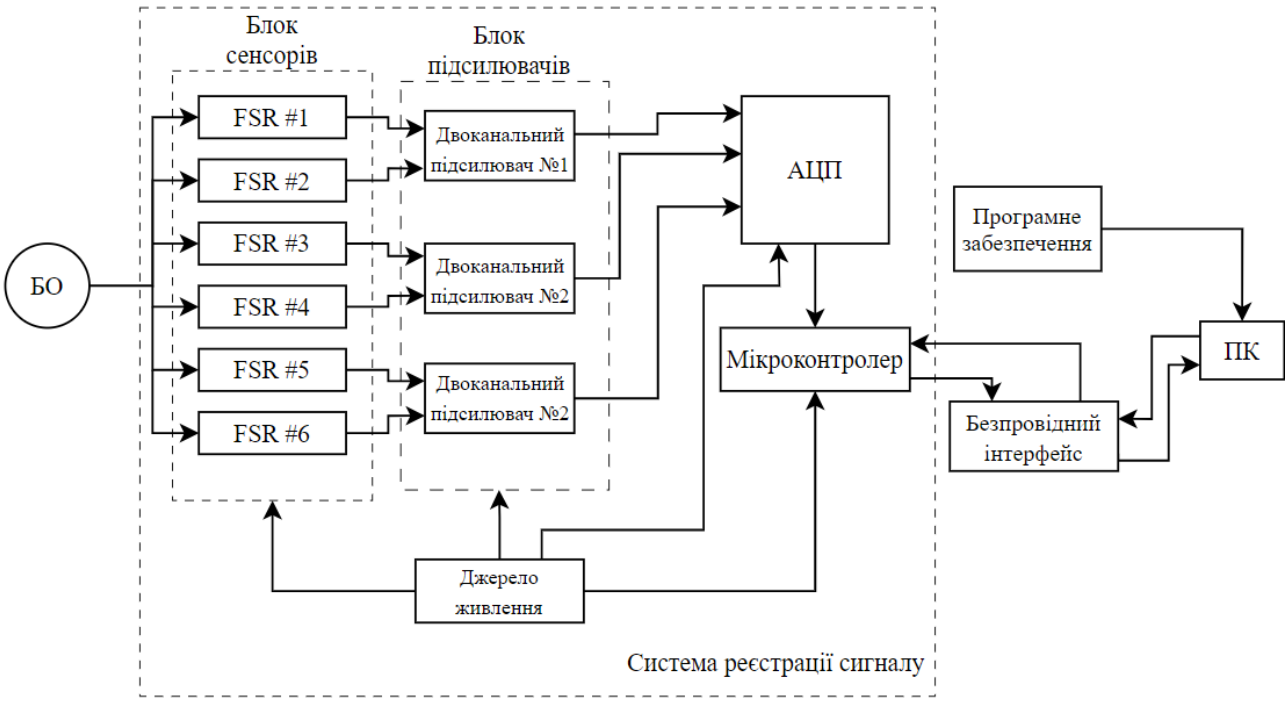


Рис.1. Функціональна схема пристрою для форс-міографічних вимірювань

Водночас, як видно з рис.2, вимірювальний пристрій реалізовано у вигляді браслету, який одягається на передпліччя пацієнта та містить у пластиковому корпусі спеціальні посадкові місця під шість тензо-резистивних гнучких FSR-сенсорів.

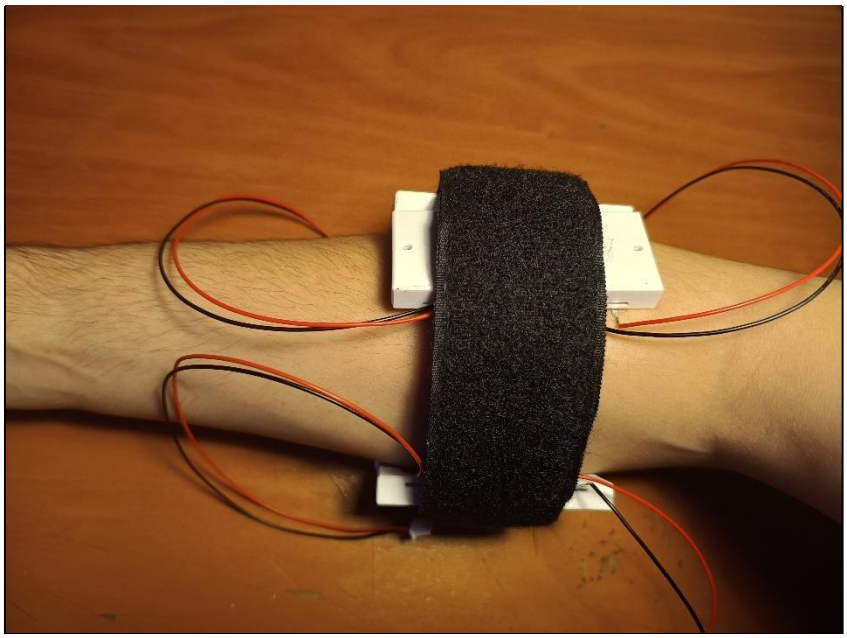


Рис.2. Вимірювальний пристрій

У якості сенсора для вимірювання м’язової активності було обрано сенсор тонкоплівковий чутник RP-L-110 [5]. Як операційний підсилювач для вимірювальної схеми використовувався двоканальний ОП LM358N, а в якості мікроконтролера - Atmega328P на базі платформи Arduino UNO. Така платформа є досить зручним інструментом для реалізації попереднього тестування запропонованої функціональної схеми та має розширені можливості для подальшого програмування і взаємодії із додатковими зовнішніми пристроями.

ВИСНОВКИ

У цій роботі авторами було розглянуто особливості вимірювання сигналів м'язової активності та основні методи, які застосовуються при визначенні рухів кінцівок людини. Зокрема, детально проаналізовано метод форс-міографічних досліджень, визначено основні сенсори та засоби для реалізації схем вимірювання ФМГ-сигналів. Запропоновано функціональну схему багатоканального пристрою для ФМГ досліджень, описано його короткий алгоритм роботи, а також обрано основні складові компоненти пристрою. Виготовлено перший прототип вимірювального каналу пристрою у вигляді браслету для розміщення на передпліччі руки людини. У подальших роботах авторами заплановано тестування розробленого пристрою та дослідження ефективності його застосування у класифікації рухів долоні людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] 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.

[2] Z. G. Xiao, C. Menon, and C. Menon, "A review of force myography research and development," Sensors, vol. 19, no. 20, p. 4557, Oct. 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/s19204557.

[3] Vonsevych, K., Goethel, M.F., Mrozowski, J., Awrejcewicz, J., Bezuglyi, M.: Fingers movements control system based on artificial neural network model. Radioelectron. Commun. Syst. 62(1), 23–33 (2019).

[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.

[5] "RP-L-110 Thin Film Pressure Sensor," Makers Electronics. [Online]. Available: https://www.makerselectronics.com/product/rp-l-110-thin-film-pressure-sensor/ [Accessed: Apr. 25, 2024].

Наук. керівник – к.т.н., доцент, Вонсевич К.П.

УДК 65.011.56:658.512.22

Н.І. Шелудько, студент гр. ПБ-01, к.т.н, доц. Барандич К.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДУЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО 3D ПРОЄКТУВАННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «КРОНШТЕЙН» ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ

Анотація. З урахуванням сучасних тенденцій в управлінні життєвим циклом продукту, область інженерії потребує автоматизації та зменшення операційної роботи при виконанні інженерних завдань. У цій роботі представлено підхід до автоматизації процесів проєктування з використанням інструментів параметризації для прискорення та оптимізації процесу 3D моделювання деталі типу «Кронштейн». Ця стаття може бути корисна для інженерів-конструкторів та спеціалістів САПР з різних галузей.

Ключові слова: моделювання, параметризація, САПР, 3D-модель, оптимізації процесів проєктування.

ВСТУП

Деталь типу «Кронштейн» має велику сферу застосування, починаючи від приладобудування, закінчуючи важким машинобудуванням та літакобудуванням. А, отже, є велика потреба у швидкому та ефективному методі проєктування деталей цього типу. При проєктуванні деталей типу «Кронштейн», основним завданням інженера-конструктора є не лише розроблення 3D-моделі деталі, але й визначення навантажень, що діють на деталь, обчислення значень згинальних та крутних моментів, а також виконання проєктувальних розрахунків розмірів поясів та стінок деталі [1]. Ці розрахунки представляють певні складнощі та займають значну частину роботи інженера. Для розв'язання цієї задачі доцільно створити модуль автоматизованого проєктування деталі.

При розроблення модуля за основу було обрано принцип параметризації 3D-моделі деталі. Параметризація моделі – це процес визначення набору параметрів, які контролюють розмір та форму моделі, що моделюється без зміни її структури. Цей принцип не тільки допомагає при проєктуванні однотипних деталей, а й дає змогу об'єднати розрахунок параметрів міцності та створення моделі в системі САПР.

РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЧНОЇ 3D-МОДЕЛІ ДЕТАЛІ

Система автоматизованого проєктування CATIA була обрана для цієї роботи, враховуючи її активне та широке застосування в таких галузях, як машинобудування та авіабудування. Ця САПР є надзвичайно потужною, має великий набір інструментів, який дозволяє проєктувати моделі деталей різної складності. Однією з ключових особливостей системи є її гнучкість щодо параметризації деталі, що дозволяє створювати оптимізовані дизайни, які можуть легко адаптуватися до змінних вимог. Окрім того, важливо відзначити, що CATIA надає широкий спектр додаткових можливостей для моделювання, аналізу та оптимізації деталей, що робить її ідеальним вибором для таких проєктів. Саме через ці переваги, систему CATIA було обрано для проєктування деталі типу "Кронштейн" (рис. 1), враховуючи її відмінні можливості та високий рівень гнучкості.

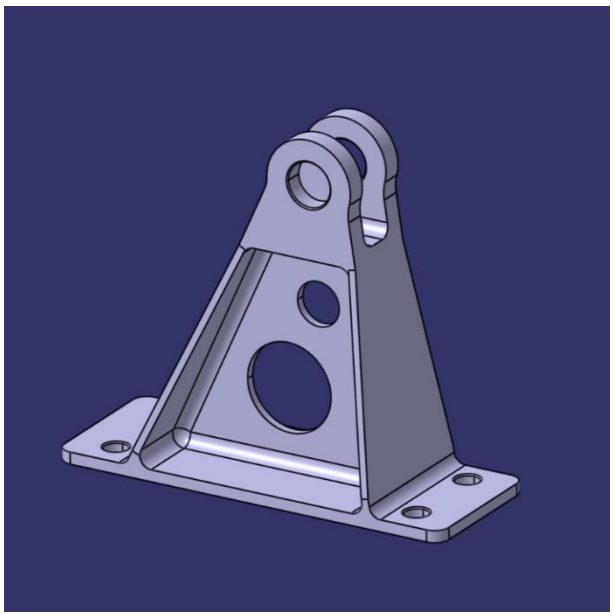


Рис. 1. 3D-модель деталі типу «Кронштейн»

Особливістю побудови параметричної моделі є те, що замість числових значень, в параметр задається формула або одиничне значення. Значення в параметрах можуть бути стандартні рівняння, значення констант, табличні значення тощо [2]. Для створення параметра в середовищі CATIA необхідно натиснути на відповідну іконку біля поля вводу значення, після чого необхідно ввести назву параметра та його значення, як показано на рис. 2. Слід зауважити, що назва параметра є унікальною, що не дає змогу створити два параметри з однаковим ім'ям.

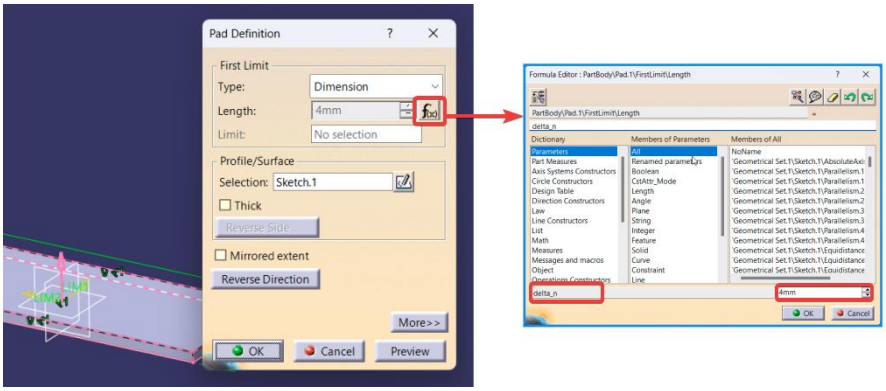


Рис. 2. Завдання параметрів в САПР CATIA

Як вже було зазначено, САПР CATIA має високий рівень гнучкості, що надає їй перевагу у інтеграції зі сторонніми модулями та плагінами. При встановленні значень параметрів, ми можемо не лише вводити їх з клавіатури, але й імпортувати з текстового чи Excel файлу. Саме цю особливість використано при створенні модулю автоматизованого проектування деталі типу «Кронштейн».

РОЗРОБКА МОДУЛЮ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Підхід який запропоновано для створення модуля це пов'язати розрахункову частину параметрів та параметризовану 3D-модель в CATIA за

допомогою імпорту в САПР файлу Excel з вихідними параметрами. Розрахунок параметрів виконується на основі даних, введених користувачем з клавіатури. Зазвичай, всі ці значення вже відомі та включають різноманітні геометричні параметри, характеристики матеріалу, табличні значення та інше. Ці дані використовуються як вихідні для подальших розрахунків і аналізу.

При проєктуванні деталі типу "Кронштейн", важливо враховувати багато вхідних параметрів. Вони включають довжину кронштейна, кількість отворів в підошві кронштейна, діаметр підшипника і багато інших.

На стадії проєктувальних розрахунків допускається застосування емпіричних наближених формул. Вони дозволяють виконувати розрахунки швидко та ефективно, що є дуже зручним при використанні різних мов програмування. Ці формули можуть забезпечити точні результати, не потребуючи великої кількості часу на розрахунки, що робить їх ідеальною опцією для використання в процесі проєктування.

ВИСНОВОК

У цій роботі розглядається розробка модуля автоматизованого проєктування деталей типу "Кронштейн", який базується на параметризації 3D-моделі деталі в системі САПР CATIA. Використання цього модуля допоможе значно скоротити час та трудомісткість проєктування деталей даного типу за допомогою автоматизації проєктувальних розрахунків та перебудови деталей, використовуючи можливості САПР CATIA.

Цей модуль може бути використаний для проєктування деталей типу "Кронштейн" в різних галузях машинобудування, авіабудування та інших.

У перспективі розвитку модуля є розширення його функціональності для проєктування інших типів деталей, інтеграція модуля з системами комп'ютерного моделювання та аналізу [3], а також розробка алгоритмів оптимізації проєктування деталей.

Ця робота є першим кроком до створення комплексної системи автоматизованого проєктування деталей, яка дозволить значно підвищити ефективність роботи інженерів-конструкторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Л. А. Малашенко Проектирование подвижных частей крыла и оперения / Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию. — Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2004. — с. 9 .

[2] Randy Shih, Parametric Modeling with Creo Parametric 3.0”, SDC Publications, 2014, - p. 517.

[3] Tzivelekis C. A., Yiotis L. S., Fountas N. A., Krimpenis A. A. Parametrically automated 3D design and manufacturing for spiral-type free-form models in an interactive CAD/CAM environment / nternational Journal on Interactive Design and Manufacturing, 2017. — p. 2.

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

Секція 4.
Автоматизація, робототехніка та технології Industry 4.0

УДК 681.51

А.А. Ванда, студент гр. ПМ-01, к.т.н., доц. Писарець А.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ

Анотація. Діяльність операторів кур'єрської доставки товарів не завжди відповідає вимогам безпеки. Тому актуальності набуває питання автоматизації доставки різноманітних товарів, що можна реалізувати впровадженням роботів-кур'єрів. Розглянуто галузі застосування, класифікацію за будовою та особливості застосування роботів-кур'єрів. Обґрунтовано структурний склад такого робота
Ключові слова: автоматизація, доставка, робот, робот-кур'єр

ВСТУП

Актуальним питанням сьогодення є автоматизація доставки будь-яких товарів різного призначення, розмірів та ваги. Одним з шляхів вирішення цього питання є розробка та впровадження роботів-кур'єрів.

Робот — це машина, здатна автоматично виконувати складну послідовність дій. Керування роботом здійснюється зовнішнім або вбудованим елементом керування [1].

Роботи можуть бути автономними або напівавтономними і варіюватися від гуманоїдів, таких як Advanced Step in Innovative Mobility (ASIMO) [2] від Honda і TOSY Ping Pong Playing Robot (TOPIO) [3] від TOSY, до промислових роботів, медичних операційних роботів, роботів-помічників пацієнтів, роботів-терапевтів, колективно запрограмованих роботів рою, безпілотних літальних апаратів, таких як General Atomics MQ-1 Predator, і навіть мікроскопічних нанороботів.

Різноманітні транспортні роботи у вигляді роботів-кур'єрів дозволяють автоматизувати процес доставки товарів.

Роботи-кур'єри широко використовуються у різних галузях діяльності людства [4 – 5] для доставки:

- товарів від різних типів магазинів (продуктів, електроніки або онлайн магазинів тощо) до клієнтів;
- пошти, документів та пакунків між офісами, компаніями та приватними особами;
- медичних зразків, ліків, медичних приладів та інших матеріалів від лікарень, лабораторій чи аптек до пацієнтів або між медичними установами;
- їжі та напоїв до номерів гостей у готелях, прибирання брудного посуду, доставки засобів догляду за номерами та іншого обслуговування,

а також переміщення товарів між різними ділянками складу, виконання інвентаризації, виконання замовлень та забезпечення швидкої та ефективної роботи складських приміщень.

Метою роботи є обґрунтування структурного складу робота-кур'єра для доставки товарів.

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОБОТІВ-КУР'ЄРІВ

Робот-кур'єр, як засіб автоматизації доставки, забезпечує швидку та

ефективну доставку за допомогою сучасних систем навігації та керування.

Застосування таких роботів зменшує час доставки, мінімізує помилки, забезпечує економічну вигоду та сприяє безпеці.

За будовою роботи-кур'єри можуть бути класифіковані наступним чином:

- **Колісні роботи** – рухаються на колесах і використовуються для переміщення по поверхнях, які призначені для транспорту.
- **Роботи з кінцівками** – можуть рухатися, нахилятися, підніматися або опускатися, щоб подолати перешкоди та нерівності на шляху.
- **Дрони (літаючі роботи)** – літальні апарати без екіпажу на борту, з різним ступенем автономності – від керованих дистанційно до повністю автоматичних, а також відрізняються за конструкцією, призначенням і безліччю інших параметрів [6].
- **Транспортні засоби на повітряній подушці** – для переміщення використовують повітряну подушку, що дозволяє їм подолати перешкоди та транспортувати великі вантажі на великі відстані.
- **Роботи-маніпулятори** – мають маніпулятори, які дозволяють їм взаємодіяти з навколишнім середовищем, піднімати, переносити або розміщувати вантажі; можуть бути застосовані для переміщення вантажів або для виконання складських операцій.
- **Гібридні роботи** – поєднують у собі різні способи руху та маніпуляції, щоб забезпечити оптимальну продуктивність та ефективність за конкретних умов [6].

Характерними ознаками застосування роботів-кур'єрів для доставки є ефективність, економічність та екологічність, що підтверджуються швидкістю доставки товарів, потенційним зниженням загальної вартості доставки через заощадження витрат на робочу силу, створенням екологічної та надійної системи доставки через зменшення обсягів використання викопного палива та викидів вуглекислого газу.

Проте застосування таких роботів має обмеження, пов’язані з вантажопідйомністю, технологічними проблемами (внаслідок технічних збоїв або несправностей), правовими та етичними аспектами, а також з безпекою застосування таких роботів (взаємодія з різними учасниками дорожнього руху).

У загальному випадку робот-кур'єр складається з механізмів руху (колеса, кінцівки, гусениці тощо), сенсорів (для виявлення перешкод та навігації), процесора (для обробки даних та прийняття рішень), системи енергопостачання (батареї або акумулятори), системи комунікації (для зв'язку з центром керування або іншими роботами) і, можливо, маніпуляторів (якщо потрібно передавати або брати предмети) [7].

Робот-кур'єр використовує свої сенсори для ідентифікації оточуючого середовища та планування оптимального маршруту. Після обробки цієї інформації процесором він приймає рішення щодо керування рухом і виконує завдання доставки. Система комунікації забезпечує зв'язок з центром керування для передачі статусу та отримання нових завдань.

ВИСНОВКИ

Ефективність та продуктивність кур'єрських послуг можна підвищити застосуванням штучного інтелекту та автономних технологій, зокрема, шляхом автоматизації та оптимізації процесів доставки, розподілу завдань, планування маршрутів та підтримки клієнтів.

Роботи-кур’єри набувають широкого застосування у різних галузях, включаючи доставку товарів, а також поштові та медичні послуги, логістику та обслуговування готелів і ресторанів.

Завдяки постійній ефективності, надійності і безперервному робочому графіку роботи-кур'єри є майбутнім доставки. Вони працюють завжди забезпечуючи стабільну якість послуг. Найкращі роботи-кур'єри відрізняються застосуванням передових навігаційних технологій, високою ефективністю та безпекою, що робить їх незамінними для різних галузей, включаючи медицину, логістику та торгівлю. Для середнього і малого бізнесу найбільш економічно доцільними можуть бути роботи-кур'єри з автономною навігацією та роботи-помічники у виробництві, які забезпечують автоматизацію та підвищують продуктивність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] What is a Robot? - ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics (robotsguide.com)- https://robotsguide.com/learn/what-is-a-robot

[2] EIT Urban Mobility Startup Investments - EIT Urban Mobility - https://www.eiturbanmobility.eu/impact-ventures/eit-urban-mobility-startup-investments/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwxLKxBhA7EiwAXO0R0NtI-h82g-Dr_hSmSfQDNvs-4Z4qoX1jEdFk27-koCDnMSFCV9B_DRoCzwgQAvD_BwE

[3] TOPIO (nina.az) - https://www.wikidata.uk-ua.nina.az/TOPIO.html

[4] Delivery robot – Wikipedia (wikipedia.org). - Режим доступу: www. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Delivery_robot

[5] Courier Delivery: The Impact of AI (onro.io) - Режим доступу: www. URL: https://onro.io/courier-delivery-the-impact-of-ai/

[6] Види роботів і класифікація в робототехніці: всі області застосування і провідні виробники розумних машин . (worldbank.org.ua) - https://worldbank.org.ua/3720-vidi-robotiv-i-klasifikatsiya-v-robototekhnitsi.html

[7] Market Research Report - Fortune Business Insights™. Звіти та консалтинг у сфері глобальних ринкових досліджень - Режим доступу: www. URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/enquiry/request-sample-pdf/delivery-robots-market-106955?trk=article-ssr-frontend-pulse_little-text-block

Наук. керівник – к.т.н., доц. Писарець А.В

УДК 004.4:621.01

Д. А. Гальченко, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н., доц. Цибульник С. О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ АНАЛІЗУ ПЛОСКИХ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

Анотація. Аналіз плоских важільних механізмів є важливою задачею в області механіки та машинобудування. У статті детально розглядається процес аналізу цих механізмів, зокрема, систем, які спрямовані на автоматизацію цього процесу. Зазначається, що існуючі системи мають суттєві недоліки, що обмежують їх функціональність. Особлива увага приділяється необхідності розроблення нової автоматизованої системи, яка здатна вирішувати ключові завдання, такі як: визначення положень ланок та траєкторій їх руху, а також розрахунок швидкостей і прискорень точок та ланок механізму. Такий підхід до автоматизації аналізу плоских важільних механізмів є актуальним у зв'язку з постійними вимогами до точності та ефективності проєктування та роботи механічних систем.

Ключові слова: система автоматизації, побудова механізму, аналіз механізму.

ВСТУП

Завдяки постійному розвитку комп'ютерних технологій комп'ютери стали невід'ємними інструментами у щоденній роботі інженерів. Протягом останніх десятиліть з'явилося безліч програмних засобів, які мають на меті сприяти процесу розроблення механізмів. Ці засоби не лише революціонізували сферу інженерії, але й значно позначилися на освіті студентів та проєктуванні механізмів.

Актуальність проблеми автоматизації аналізу плоских важільних механізмів очевидна, оскільки це може значно полегшити та прискорити процес розробки механізмів. На сьогоднішній день існують програмні рішення, спрямовані на аналіз механізмів, проте багато з них мають свої обмеження та недоліки, що ускладнює їх ефективне використання.

Аналіз механізму - це процес вивчення та розуміння роботи механічних систем з метою побудови, оптимізації та вдосконалення їхньої роботи за заданими параметрами, такими як: розміри, положення, швидкості та прискорення. Кінематичний аналіз механізмів включає в себе вирішення трьох основних завдань: визначення положень ланок та траєкторій їхнього руху, визначення швидкостей та прискорень точок та ланок механізму [1]. Завдання побудови плану механізму полягає у визначенні положення всіх ланок відносно заданого початкового положення однієї з ланок. Основним методом для цього є метод геометричних місць, що базується на використанні масштабованих креслень.

У цій статті буде проведено детальний аналіз проблеми автоматизації аналізу плоских важільних механізмів, а також розглянуто існуючі програмні рішення та їхні недоліки. Крім того, буде визначено ключові аспекти, які потребують уваги у розробленні нових програмних засобів для більш ефективного та точного аналізу механізмів.

НЕДОЛІКИ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ АНАЛІЗУ МЕХАНІЗМУ

Існують системи, які частково вирішують поставлену проблему аналізу механізмів. Деякі з них надають зручний інтерфейс користувача та базовий функціонал для вирішення простих кінематичних завдань. Багато інженерів

надалі використовують консервативні методи побудови та аналізу механізмів, через недоліки існуючих програмних рішень. Ці методи можуть бути часо- та ресурсомісткими, а також не дозволяють проводити складний аналіз та оптимізацію механізмів в ефективний спосіб. Такий підхід може призводити до обмеженого розвитку нових конструкцій та інновацій у галузі механічної інженерії. Тому, потреба у вдосконаленні програмних засобів для аналізу механізмів стає більшою, щоб надати інженерам потужні та зручні інструменти для роботи, які відповідають сучасним вимогам та стандартам. Нижче будуть розглянуті недоліки існуючих систем, які мають обмежений функціонал і призводять до потреби у вдосконаленні.

LinkageDesigner - це програмне забезпечення, спеціалізоване на проєктуванні та аналізі плоских механізмів. Воно надає можливість моделювати складні механічні системи, використовуючи графічний інтерфейс та проводити їх кінематичний аналіз.

Недоліком LinkageDesigner є обмеження у можливості будуванні планів положень, швидкостей та прискорень. Програма спрямована переважно на моделювання та візуалізацію механічних систем, але не надає інструментів для автоматизованого розрахунку та аналізу динамічних параметрів механізмів. Таким чином, користувачам може бути складно отримати повний обсяг даних щодо руху та динаміки системи без додаткового програмного забезпечення або аналітичних методів [2].

MechDev є програмним забезпеченням для проєктування механізмів, яке ставить перед собою завдання забезпечити якісне поєднання зручності в користуванні та функціональності для проєктування механізмів. Комбінація аналітичних та чисельних методів обчислень дозволяє практично в реальному часі обчислювати механізми і, отже, взаємодіяти з механізмом в процесі його проєктування. Крім того, результати аналізу можуть бути складені та налаштовані індивідуально для конкретних завдань. Сфера застосування програмного забезпечення охоплює, як академічну, так і промислову сфери. Навіть якщо дизайн програмного забезпечення ще не завершений, вже інтегровано багато функціональних можливостей для проєктування механізмів. Описаний вище продукт має ті самі недоліки, що і LinkageDesigner, зокрема, обмеженість у можливості будування планів положень, прискорень та швидкостей в реальному часі, а також обмеженість у зручності використання для користувачів, що не мають глибоких знань в галузі проєктування механізмів [3].

MotionGen - це веб-орієнтоване програмне забезпечення для симуляції та синтезу механізмів. Це перше в світі програмне забезпечення синтезу, що поєднує машинне навчання та кінематику для синтезу траєкторій, використовуючи сучасний обчислювальний алгоритм. Додаток відрізняється зручним інтерфейсом та можливістю анімації механізмів, що сприяє кращому розумінню їх роботи. Однак, MotionGen має обмеження у функціоналі для побудови планів положень механізму, надаючи тільки можливість анімації [4].

SolidWorks, відомий своєю потужною системою комп'ютерного проектування (CAD), також може бути використаний для побудови рухомого ескізу механізму та плану положень. Він дозволяє швидко виявити крайні

положення механізму, спрощуючи процес аналізу. Однак, серед недоліків варто зазначити відсутність можливості побудови планів швидкостей та прискорень.

Програмне забезпечення MechDesigner є важливим інструментом для інженерів та дизайнерів, які займаються проєктуванням, аналізом та симуляцією механізмів та з'єднань. Воно надає можливість працювати, як з інверсною кінематикою, так і з прямою кінематикою, що робить його універсальним інструментом для різних завдань.

Завдяки інтуїтивному інтерфейсу, MechDesigner дозволяє легко додавати деталі, з'єднання та рухи до механізмів. Ви можете проєктувати практично будь-який просторовий механізм, а також аналізувати лінійне та кутове переміщення, швидкість та прискорення деталей і з'єднань.

MechDesigner також дозволяє моделювати взаємодію між декількома компонентами, що є важливим для багатьох застосувань. Таким чином, програма допомагає не лише у створенні складних механічних систем, а й у їхньому ефективному аналізі та вдосконаленні.

Однак, важливо зазначити, що MechDesigner має свої обмеження у можливостях побудови планів положень, швидкостей та прискорень. Тому, для повного аналізу динаміки механізмів може знадобитися додаткове програмне забезпечення або аналітичні методи [5].

MechAnalyzer - це програмне забезпечення на основі 3D-моделей, розроблене для роботи з механізмами. Воно є продуктом, що постійно розвивається і було розроблене в лабораторії мехатроніки при кафедрі механічної інженерії в Індійському технологічному інституті у Делі під керівництвом професора С.К. Саха.

MechAnalyzer - це безкоштовне програмне забезпечення, розроблене для моделювання та аналізу механізмів, які вже попередньо завантажені в нього, що дозволяє заощадити час і зусилля, необхідні для початку роботи з ним. Програма розроблена на мові програмування C# та використовує OpenGL/OpenTK для візуалізації. Недолік: Незважаючи на багато позитивних аспектів, MechAnalyzer має обмеження в розмірах та складності механізмів, які може моделювати та аналізувати [6].

GIM - це зареєстроване програмне забезпечення, створене групою досліджень COMPMECH, яка належить до кафедри механічної інженерії Університету Країни Басків (UPV/EHU). Програма призначена для навчальних цілей, зокрема для кінематичного аналізу, симуляції руху і синтезу плоских механізмів, а також статичного аналізу механічних структур.

Програма призначена для побудови траєкторій точок механізму, а також центрування і локусу центрування кривизни цих траєкторій. Вона також може відображати зону, охоплену певними елементами механізму. Користувачі можуть отримувати швидкості та прискорення, та візуалізувати відповідні вектори під час руху. Крім того, програма може створювати графіки та таблиці, пов'язані з цими даними.

Програма дозволяє симулювати рухи механізму, а також надає інструменти для аналізу плоского механізму після повного визначення його геометрії. Інтерфейс програми містить функції для визначення вхідних даних, обчислення

руху, керування симуляцією руху, відображення кінематичних властивостей та візуалізації важливих характеристик, таких як: швидкість, прискорення, траєкторії та центри обертання.

Недоліком програми є обмеженість в побудові крайніх положень механізму та побудови планів швидкостей, та прискорень для всіх положень. Програма може бути нездатна автоматично визначити або обчислити ці значення для всіх можливих положень механізму, що обмежує можливості детального аналізу його руху та динаміки [7].

ASOM (Advanced Simulation of Motion) - це програмне забезпечення для моделювання та аналізу руху механізмів. Воно розроблене для ефективного використання у навчальних цілях, зокрема для курсів з кінематичного аналізу, симуляції руху та синтезу плоских механізмів, а також для статичного аналізу механічних конструкцій.

ASOM має кілька ключових особливостей: інтуїтивний інтерфейс, що дозволяє легко використовувати програму, симуляцію руху різних механізмів, аналіз руху, синтез механізмів та статичний аналіз механічних конструкцій. Програма може бути корисною для навчання та досліджень у галузі механіки.

Недоліком ASOM може бути складність використання для новачків у механічному моделюванні, а також обмеженість у деяких функціях порівняно з більш складними та професійними програмами. Однак, для освоєння основ кінематичного аналізу та моделювання руху, ASOM є ефективним та корисним інструментом.

Всі існуючі рішення в галузі аналізу механізмів не вирішують або частково вирішують ключові завдання, такі як побудова планів положень, швидкостей та прискорень. Багато програмних засобів забезпечують лише базові функціональні можливості, які не охоплюють і половини задач кінематичного аналізу плоских важільних механізмів автоматизованих систем.

Отже, є необхідність у розробленні системи, яка має інтерфейс з наступними можливостями:

- Створення плоского важільного механізму з наступними ланками: кривошип, коромисло, шатун, повзун, стійка.
- Додавання та розташування компонентів з’єднань.
- Автоматичне проставлення нумерації ланок.
- Проставлення розмірів ланок.
- Автоматизована система має:
- Будувати плани положень плоского важільного механізму для 12 положень.
- Будувати план швидкостей.
- Будувати план прискорень.

Така система має бути інтуїтивно зрозумілою для користувача та використовувати сучасні методи аналізу механізмів, щоб забезпечити точність і ефективність роботи.

Зараз існує багато технологій та бібліотек, які можуть спростити розроблення такої системи. Загальна мета полягає у створенні системи, яка буде

надійно покривати всі аспекти аналізу та синтезу механізмів, забезпечуючи користувачам потужні та зручні інструменти для роботи з механізмами.

Таким чином, розробка такої системи передбачає використання сучасних технологій та методів, що забезпечать повноту та надійність аналізу та синтезу механізмів, враховуючи потреби і вимоги інженерної галузі у сучасному світі.

ВИСНОВКИ

Автоматизація аналізу плоского важільного механізму є актуальною задачею, оскільки вона спрощує та прискорює процес розробки механічних систем, забезпечуючи ефективніше вирішення кінематичних завдань. Існуючі програмні рішення, надають деякий функціонал для аналізу механізмів, але мають обмеження. Розроблення нової системи, яка забезпечить виконання всіх задач аналізу та синтезу механізмів, є доцільною. Отже, розроблення інноваційного програмного забезпечення для автоматизації аналізу механізмів є важливим напрямком, який може покращити ефективність та точність проектування механічних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] І.М. Мацюк, Е.М. Шляхов, «АНАЛІЗ ПЛОСКОГО ВАЖІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ», с. 6-7.

[2] LinkageDesigner, URL: https://www.linkagedesigner.com (дата звернення: 24.04.24)

[3] Linkage and Cam Design with MechDev Based on Non-Uniform Rational B-Splines by Mario Müller, URL: https://doi.org/10.3390/machines8010005 (дата звернення: 24.04.24)

[4] MotionGen A Mechanism Design and Simulation Software By Mechanismic Inc. and Stony Brook University. — Режим доступа:www.URL:https://docs.google.com/document/d/1wWEU2ezlrpbuiyuf0phaFUdfynsyXRvZMRIsCPKlWck/edit?pli=1#heading=h.g6nr81xnwjj7

[5] Kinematics Analysis and Simulation Software, Inverse-Kinematics and Forward-Kinematics: Mechanism and Linkage Design, Analysis and Simulation. — Режим доступа:www.URL: https://psmotion.com/mechdesigner/feature/kinematics-analysis-and-simulation-software-0

[6] MechAnalyzer. — Режим доступа:www.URL:http://www.roboanalyzer.com/mechanalyzer.html

[7] Tutorial of GIM Software Part I: Kinematic Analysis. — Режим доступа:www.URL:https://www.ehu.eus/compmech/wp-content/uploads/2014/02/Tutorial_GIM.pdf

Наук. керівник – доцент, к.т.н. Цибульник С. О.

УДК 004.89

Б. А. Гук, студент гр. ПК-31, доц. Галаган Р. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОЗУМНИХ БУДИНКАХ

Анотація. В роботі розглянута ідея розумного будинку, описано сфери застосування штучного інтелекту в розумному будинку та наведені приклади такого застосування. Крім того, розглянуто деякі рішення більш глибокої інтеграції штучного інтелекту в розумний будинок.

Ключові слова: розумний будинок, штучний інтелект, інтернет речей, IoT, smart home, internet of things, artificial intelligence

ВСТУП

Розумний будинок – це житло, в якому використовують прилади, підключені до інтернету для віддаленого керування ними чи отримання з них інформації. Найчастіше в таких будинках прилади спрямовані на автоматизацію чи спрощення повсякденних справ, що робить життя в такому будинку комфортніше.

Будучи частиною концепції Internet of Things (IoT), системи та пристрої розумного будинку часто працюють разом, обмінюючись між собою даними про використання споживачами та автоматизуючи дії на основі вподобань власників будинків [1].

Приклади пристроїв в розумному будинку наведені на рис. 1.

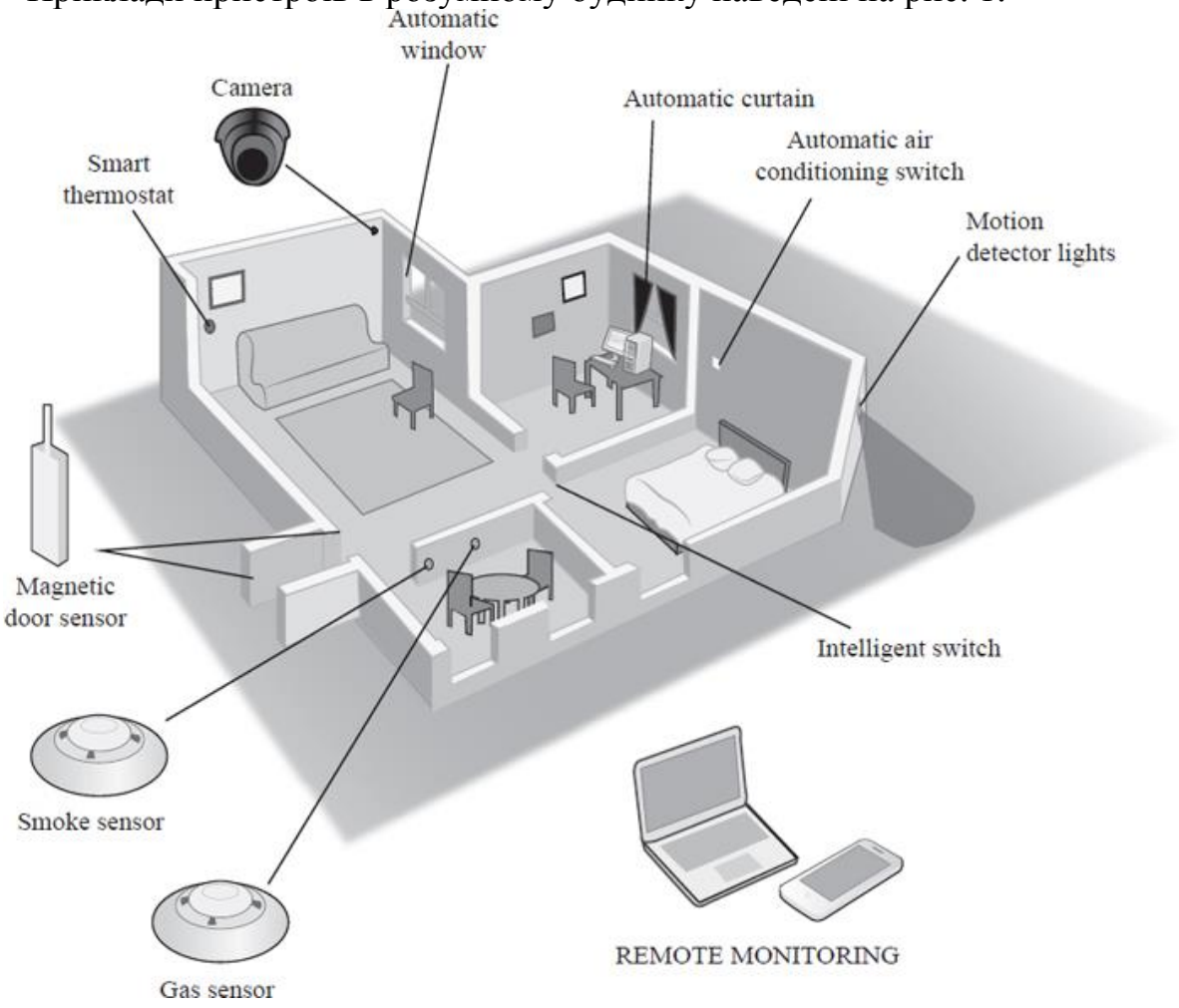


Рисунок 1. Пристрої в розумному будинку [2]

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

Технологія штучного інтелекту (ШІ) активно використовується в продуктах розумного будинку. З основних можна виділити шість сфер застосувань методів ШІ в розумних будинках: розпізнавання активності, обробка даних, розпізнавання голосу, розпізнавання зображень, прийняття рішень і прогнозування [3].

Оглянемо детальніше методи штучного інтелекту в частині з цих сфер.

Для розпізнавання активності ШІ аналізує дані, що передають датчики в розумному будинку. Часто ШІ налаштований на розпізнавання дивної активності, яка відрізняється від звичайної, та при виявлені такої подає сигнал тривоги. Приклади такого методу можна побачити в виробах компаній Hive Home та Care@Home.

Однією з найцікавіших та, мабуть, найвідоміших застосувань ШІ в розумному будинку є управління будинком з використанням голосу. ШІ працює на основі методів обробки природної мови та дозволяє людям взаємодіяти з ним, просто ведучи розмову, наприклад, запитуючи про погоду, замовляючи товари онлайн або викликаючи таксі. Найчастіше таке управління здійснюється за допомогою інтеграції так званих “розумних асистентів” (наприклад, Google Assistant, Siri, Alexa).

Що стосується розпізнавання зображень, то ШІ використовується для розпізнавання обличчя, емоцій, біометрії та розуміння сцени. Він може спостерігати й аналізувати поведінку людини. Як приклади такого використання можна привести Lighthouse, Nest Cam, Honeywell Smart Home Security System тощо.

ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОГО ШІ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

Розглянемо можливість інтеграції ChatGPT у розумний будинок. Для такої інтеграції потрібно, щоб ChatGPT вмів розпізнавати та спілкуватися з розумними пристроями, такими як освітлення, замки, опалення та інші прилади. Для початку потрібно, щоб ШІ розумів природну людську мову, для чого можна використати відповідне розширення. Далі потрібно навчити ШІ взаємодіяти з різними пристроями. Для цього потрібна певна централізована система, якою може стати проєкт Home Assistant, що є програмою з відкритим кодом. На практиці це все реалізував розробник, який відомий як HassAssistant. Свій проєкт він опублікував у репозиторії GitHub [4].

Ще одним прикладом вдалої інтеграції ШІ та розумного будинку є проєкт компанії Josh.ai, яка виробляє інструменти голосового керування штучним інтелектом. Представлений цією компанією ШІ вміє за голосовим запитом закрити жалюзі, дати місцевий прогноз погоди та навіть дати поради щодо сну. ШІ також відповів на складніші запитання, наприклад, у яких музеях Каліфорнії представлений Енді Воргол [5].

ARTIFICIAL INTELLIGENCE OF THINGS (AIOT)

AIoT (він же штучний інтелект речей) – це комбінація ШІ та інтернету речей. Моделі ШІ застосовуються до великої кількості даних, створених пристроями, щоб за допомогою аналізу даних дозволяти пристроям самостійно приймати рішення та покращувати взаємодію між людиною та машиною. Інтеграція ШІ в розумний будинок також підпадає під це визначення [6].

У пристроях AIoT штучний інтелект вбудований в інфраструктурні компоненти, такі як програми та набори мікросхем, які з'єднані між собою за допомогою мереж IoT. Потім використовуються інтерфейси прикладного програмування (API), щоб забезпечити роботу і взаємодію всіх апаратних, програмних і платформних компонентів без зусиль з боку кінцевого користувача [7].

ВИСНОВОК

ШІ вже активно використовується в розумних будинках, проте ця технологія продовжує розвиватися. Завдяки нещодавнім досягненням у цій сфері інтерес до використання ШІ в розумних будинках значно зріс. Він може стати надзвичайно корисним інструментом для автоматизації та поліпшення життя власників, проте наразі на ринку мало повноцінних інтеграцій ШІ в розумний будинок. Однак можна очікувати, що з часом такі проєкти стануть більш поширеними, відкриваючи нові можливості для інновацій та комфорту в будинках майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Kinza Yasar, «smart home». — Режим доступу: www.URL: https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/smart-home-or-building
[2] Micah L. Issitt, «Smart Homes». — Режим доступу: www.URL: https://science.jrank.org/computer-science/Smart_Homes.html
[3] X. Guo, Z. Shen, Y. Zhang & T. Wu, «Review on the Application of Artificial Intelligence in Smart Homes», *Big Data-Driven Intelligent Services in Smart Cities*, 2019.
[4] Hassassistant, «Home Assistant OpenAI Response Sensor». — Режим доступу: www.URL: https://github.com/Hassassistant/openai_response
[5] K. Rees, «Can ChatGPT Control Your Smart Home?» — Режим доступу: www.URL: https://www.makeuseof.com/can-chatgpt-control-your-smart-home/
[6] RWS, «Artificial Intelligence of Things (AIoT)». — Режим доступу: www.URL: https://www.rws.com/content-management/glossary-of-terms/artificial-intelligence-of-things/
[7] Kinza Yasar, «artificial intelligence of things (AIoT)». — Режим доступу: www.URL: https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Artificial-Intelligence-of-Things-AIoT

Наук. керівник – к.т.н., доц. Галаган Р.М.

УДК 681.51

Н.В. Демерза, студент гр. ПМ-31мп, к.т.н., доц. Писарець А.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПАКУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ

Анотація. Пакування будь-якої продукції сприяє збереженню її властивостей, подовжує термін придатності. Пакування великогабаритних виробів має свої особливості та проблеми і здійснюється з використанням коробок з гофрованого картону, стрейч-плівки, палет, пінопластових плит та спеціалізованих пакувальних систем для забезпечення їх стійкості та цілісності під час зберігання та переміщень. Розглянуто особливості застосування, стрейч-пакувальних машин, їх проблеми та шляхи вдосконалення.
Ключові слова: автоматизація, пакування, великогабаритні вироби.

ВСТУП

Виробництво будь-якого товару заздалегідь передбачає необхідність у пакуванні, що зберігає його властивості при транспортуванні та подальшому зберіганні, значно подовжує термін придатності, створює привабливий зовнішній вигляд [1].

Якість та спосіб пакування продукції впливає на ефективність та конкурентоспроможність виробництва. Оптимізація процесів пакування може призвести до зменшення витрат, підвищення якості продукції та збільшення загальної продуктивності.

Можливість впровадження нових технологічних рішень, розроблених у ході досліджень, включає в себе створення екологічно дружніх систем пакування, підвищення рівня автономності та використання сучасних систем моніторингу і керування. Це сприятиме ефективному використанню ресурсів, зменшенню витрат та створенню інноваційного іміджу виробництва.

У світі значно розширився асортимент пакувального обладнання. На ринку представлено п’ять основних типів пакування і кілька десятків видів пакувальних машин, улаштування яких дозволяє їх модифікацію.

Майже всі ці машини здійснюють механізований процес і представляють собою автоматичні або напівавтоматичні лінії для пакування, обгортання або фасування товарів [2].

Вибір обладнання залежить від мети пакування та характеру товару, який потрібно упакувати, і здійснюється з обгорткових, фасувальних, запаювальних, термозбіжних і термічних ліній для пакування продукції.

Найпоширенішим видом пакування є запаювання; при цьому застосовується напівавтоматичне обладнання, що не потребує високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Термоусадкове пакувальне обладнання призначене для обгортання кабелів, дротів тощо.

Пакування великогабаритних виробів є складним процесом, який здійснюється комплексними системами, що містять автоматизовані, напівавтомазовані та механізовані лінії. Таке обладнання призначене для тривалої роботи і має бути надійним та довговічним. Відповідно до типу пакування виділяють обладнання для конструкції, профілю, каркасу тощо. Обладнання відрізняється високою продуктивністю і здатністю значно підвищити швидкість виробництва.

Автоматичне або напівавтоматичне обладнання для пакування з гофрокартону швидко окупає інвестиції через широке застосування матеріалу. Пакувальні процеси використовують поліпропілен, стрейч-плівку, або скотч для закріплення упаковки.

Метою роботи є розробка та обґрунтування концепції вдосконалення використання пакувальних верстатів зі стрейч-плівкою для пакування великогабаритних виробів.

ОСОБЛИВОСТІ ПАКУВАННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ВИРОБІВ ЗА ДОПОГОЮ СТРЕЙЧ-ПЛІВКИ

Великогабаритні вироби – все, що виходить за межі стандартних розмірів та вимагає спеціальних умов перевезення, зберігання або використання [3] (наприклад, диван, велика побутова техніка, транспортні засоби, будівельні матеріали тощо).

Пакування великогабаритних виробів має свої особливості та проблеми, які впливають на вибір матеріалів і методів.

При пакуванні великогабаритних виробів застосовуються [4]:

- Коробки з гофрованого картону (мають підвищену міцність для забезпечення захисту під час транспортування та зберігання).
- Стрейч-плівка (забезпечує захист від пилу, вологи та пошкоджень під час транспортування).
- Палети (для розташування та закріплення товару використовуються стрейч-плівка або ремінці).
- Пінопластові плити (для захисту товару від пошкоджень під час транспортування та вантаження).
- Спеціалізовані пакувальні системи (створюються з урахуванням особливостей та потреб).

Найзручнішим серед зазначених постає пакування стрейч-плівкою [5].

Такий спосіб забезпечує стабільність вантажу за рахунок міцного скріплення товарів на палеті, запобігаючи його зсуву або падінню під час транспортування; захищає від зовнішніх впливів (від пилу, бруду, вологи та інших зовнішніх факторів, які можуть зашкодити товару під час перевезення або зберігання);

При цьому застосування стрейч-пакувальних машин:

- значно прискорює процес пакування порівняно з ручним способом, збільшуючи продуктивність і зменшуючи трудові витрати;
- знижує витрати на матеріали завдяки точному контролю кількості плівки на кожну палету;
- дозволяє пакувати вантажі різної форми і розмірів, забезпечуючи універсальність у складських операціях.

Стрейч-пакувальні машини використовують електроенергію для роботи механізмів розтягування, обертання та керування плівкою. Залежно від моделі та інтенсивності використання таке обладнання є енергоємним.

Більшість стрейч-пакувальних машин працюють виключно зі стрейч-плівкою, що є неприйнятним для деяких видів товарів, які потребують

жорсткішого пакування або додаткових захисних матеріалів.

Зниження енергоспоживання при цьому окреслюється наступними заходами [6]:

- оптимізація налаштувань обладнання (здійснюється регулюванням машин для роботи в енергоефективному режимі);
- використання енергоефективних машин (реалізується інвестиціями в обладнання з вищим класом енергоефективності);
- перехід на альтернативні джерела енергії (шляхом встановлення сонячних панелей для забезпечення роботи обладнання).
- Вирішення другої проблеми передбачає:
- застосування комбінованого пакування, тобто інтеграцію стрейч-плівки з додатковими захисними матеріалами для підвищення захисту продукції;
- використання універсальних пакувальних машин, що пов’язано з інвестиціями в обладнання, здатне обробляти різноманітні пакувальні матеріали, забезпечуючи адаптивність до різних товарів;
- регулярний аналіз пакувальних матеріалів та методів з метою виявлення можливостей для оптимізації захисту та зменшення витрат.

Ці рішення допоможуть не тільки оптимізувати використання стрейч-пакувальних машин, а й забезпечити більш ефективне та адаптивне пакування великогабаритних товарів, зберігаючи ресурси відповідно до актуальних вимог ринку.

ВИСНОВКИ

Пакування є важливою частиною захисту та транспортування виробів, особливо великогабаритних. Використання стрейч-плівки дозволяє не лише забезпечити стабільність і захист товарів під час переміщення, але й знижує ризик їх пошкоджень. Автоматизовані стрейч-пакувальні машини зменшують трудові витрати і підвищують продуктивність пакування, що є важливим для ефективного виробництва. Крім того, оптимізація використання стрейч-плівки через новітні технології допомагає знижувати витрати та підтримувати стійкість виробництва.

Сучасні методи пакування, зокрема використання універсальних пакувальних машин, які дозволяють застосовувати різні пакувальні матеріали, підвищують загальну ефективність та допомагають виробникам залишатися конкурентоспроможними на ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Пакувальне обладнання та матеріали / ТОВ фірма ІВК Техніка. — Режим доступу : https://www.upakovka.com.ua/ukr/

[2] Види пакувального обладнання та його застосування / Львів. Pack Groupe - Обладнання для герметизації. — Режим доступу: https://packfood.com.ua/%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%B8-%D0%BF%D0%B0%D0%BA%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-

%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D1%82%D0%B0-%D0%B9%D0%BE%D0%B3%D0%BE/

[3] Види упаковки відповідно до видів вантажів / DIMEX, 1998—2015. — Режим доступу: https://dimex.in.ua/upakovka/vidy-upakovki-v-sootvetstvii-s-vidami-gruzov/

[4] Стретч-худ обладнання / MANU PACKAGING GROUP. — Режим доступу: https://manupackaging.ua/obladnannya/stretch-hud-obladnannya/

[5] Stretch Wrap / ENKO Products. — Режим доступу : product-category/stretch-film-shrink-wrap/

[6] STRETCH EQUIPMENT / Wilmington, Atlantic Packaging. — Режим доступу: https://www.atlanticpkg.com/equipment-materials/stretch/

Наук. керівник – к.т.н., доц. Писарець А.В.

УДК 687.02

С.А. Дмитренко, студент гр. ПБ-31мн, к.т.н., доц. Барандич К.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ REINFORCEMENT LEARNING ДЛЯ ЗАВДАНЬ СКЛАДАННЯ

Анотація Робота присвячена викликам у сучасному виробництві, пов'язаним з адаптацією автоматизованих систем складання до нових завдань. Представлені методи використання технологій глибокого навчання та глибокого посиленого навчання для збору та аналізу даних про складальні процеси, а також для навчання роботів самостійно освоювати нові завдання. Результати показують, що використання цих методів може значно підвищити ефективність виробництва та знизити час на адаптацію до нових завдань.

Ключові слова: Автоматизовані системи складання, навчання з підкріпленням, deep reinforcement learning.

ВСТУП

У сучасному світі промислової автоматизації, де виробництво стрімко розвивається завдяки технологічним інноваціям, інтеграція штучного інтелекту (ШІ) у процес складання відкриває нові можливості для підвищення продуктивності, ефективності та безпеки. Використання машинного навчання та робототехніки стає підходом, який може радикально змінити промислову автоматизацію, надаючи роботам здатність вчитися від спостережень і адаптуватися до складних середовищ роботи з мінімальним втручанням людини.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Одним із викликів у сучасному виробництві є здатність швидко адаптувати автоматизовані системи складання до нових завдань. Негнучкість традиційних складальних ліній, які призначені для масового виробництва ідентичних продуктів часто призводить до значних простоїв під час переналагодження виробництва, неефективного використання ресурсів та збільшення витрат. Інженери під час адаптації автоматизованих систем складання обирають рішення, ґрунтуючись на особистому досвіді, часто шляхом випробувань і помилок. Проблема в тому, що такий підхід важко передати колегам або адаптувати до нових умов.

Автоматичне навчання на основі накопиченого досвіду допомагає зафіксувати цей цінний досвід і використати його для удосконалення роботи складальних систем. Відбувається фіксування як успішних, так і невдалих спроб змін, що дозволяє системі вчитися на помилках і успіхах. Цей накопичений досвід потім слугує основою для системи, яка допомагає працівникам обирати найкращі дії в нових ситуаціях.

Така система може автоматично збирати інформацію про процес адаптації до нових завдань та використовує її для створення бази знань. Коли виникає потреба в адаптації, система пропонує перелік оптимальних дій, заснованих на аналогічних ситуаціях з минулого. Це не тільки скорочує час на адаптацію, але й допомагає уникнути повторення попередніх помилок.

У роботі [1] описано як можна досягти такого результату за допомогою автоматизованих систем складання, які оснащені програмованими логічними контролерами (ПЛК), що генерують сигнали в реальному часі. Ці сигнали пізніше перетворюються у високо-рівневі структури даних (події), що будуть

оброблятись спеціалізованим програмним забезпеченням. Події містять інформацію про те, скільки часу зайняла складальна операція, результати перевірок чи вимірювань, додані або видалені системи автоматизованого складання та решта корисної інформації, що може бути відстежена для задання характеристики стану системи загалом або її продуктивності. Усе це допомагає розуміти, як працює складальна лінія на даний момент та що потрібно замінити.

Також у сучасному виробництві велике значення має створення системи, яка дозволяє роботам самостійно навчатися та адаптуватися до нових задач без значної участі людини. У статті [2] описано новий метод, який дозволяє роботам швидко освоювати нові складальні завдання, спостерігаючи за діями людей, та перетворювати цей досвід на конкретні дії, які вони можуть виконувати. Цей процес включає два ключові етапи: перший – роботи навчаються, імітуючи складальні процеси людей, і другий – перенесення цих знань у форму конкретних завдань, які робот може виконувати автономно.

Роботу методу у [2] представлено на прикладі створення прототипу автоматизованої системи складання для вимикачів та електронних приставок. Результати роботи демонструють, що такий підхід значно зменшує час та зусилля, необхідні для програмування роботів під нові задачі, роблячи процес більш ефективним і доступним.

На першому етапі, використовуючи технології глибокого навчання, роботи аналізують відеозаписи людей, які виконують складальні завдання, щоб вивчити необхідні дії та їх послідовність. Цей досвід трансформується в скрипт дій, який роботи можуть розуміти. Далі, на другому етапі, цей "людський" скрипт перетворюється на "роботизований", який враховує фізичні та перцептивні обмеження роботів.

Використовуючи попередньо вивчені навички, роботи реалізують складальні завдання у реальних умовах. Ці навички дозволяють їм ефективно адаптуватися до непередбачуваних змін у процесі складання.

Глибоке посилене навчання (DRL) — це техніка в області штучного інтелекту, що поєднує навчання з підкріпленням та глибокі нейронні мережі для розв'язання проблем прийняття рішень у динамічних середовищах.

Структура DRL містить кілька ключових компонентів: агент, який виконує дії в середовищі на основі своєї політики; динамічне середовище, що реагує на дії агента нагородами або покараннями; стани, які відображають різні конфігурації або умови середовища; дії, які агент може приймати для впливу на стани середовища; нагороди, що оцінюють ефективність агента.

Агенти в DRL адаптують свої стратегії, аналізуючи дані з сенсорів, що дозволяє їм ефективно реагувати на зміни в середовищі. Це досягається завдяки політиці, яка допомагає прогнозувати результати різних дій за допомогою функції вартості.

Політика агента є ключовою у визначенні його поведінки, оскільки вона допомагає агенту визначати, які дії слід виконати у певних умовах для досягнення кращих результатів. Паралельно, модель середовища, яка зберігає дані про особливості та поведінку середовища, використовується для того, щоб допомогти агенту планувати його наступні дії. Однак, процес навчання може

стикатися з певними викликами, такими як нестабільність тренувань і необхідність вибору між дослідженням нових стратегій та використанням уже відомих і перевірених підходів для забезпечення максимальної вигоди.

Процес навчання агента у глибокому посиленому навчанні (DRL) розпочинається з його активації, під час якої він починає активно взаємодіяти з середовищем. У цей час агент збирає інформацію про наслідки своїх дій, що дозволяє йому зрозуміти, які стратегії є ефективними. Отримані дані використовуються для адаптації і удосконалення його методів, що забезпечує підвищення стабільності його поведінкової політики. Така постійна корекція стратегій допомагає агенту краще адаптуватися до мінливих умов і ефективно виконувати завдання в змінних середовищах.

Впровадження цих технологій може радикально підвищити ефективність виробництва, зменшуючи час на налаштування та адаптацію до нових завдань, а також забезпечити високу адаптивність системи до вимог сучасного виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Daniele Scrimieri, Nikolas Antzoulatos, Elkin Castro, Svetan M. Ratchev, «Automated Experience-Based Learning for Plug and Produce Assembly Systems», *International journal of production research*, с. 3674-3685, 2017.

[2] Sanghoon Ji, Sukhan Lee,Sujeong Yoo, Ilhong Suh, Inso Kwon, Frank C. Park, Sanghyoung Lee, Hongseok Kim, «Learning-Based Automation of Robotic Assembly for Smart Manufacturing», *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2021.

[3] Aiyu Zhu, Tianhong Dai, Gangyan Xu, Pieter Pauwels, Bauke de Vries, Meng Fang «Deep Reinforcement Learning for Real-Time Assembly Planning in Robot-Based Prefabricated Construction», *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2021.

[4] Göppert, Amon Mirko Robin (Corresponding author); Rachner, Jonas Sebastian; Schmitt, Robert H., «Automated scenario analysis of reinforcement learning controlled line-less assembly systems», *53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 2020.

[5] Sanghoon Ji, Sukhan Lee,Sujeong Yoo, Ilhong Suh, Inso Kwon, Frank C. Park, Sanghyoung Lee, Hongseok Kim, «Construction of automated optimal control systems with elements of artificial intelligence», *IAES International Journal of Robotics and Automation (IJRA)*, с. 365-372, 2023.

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

УДК 617.57-77, 617.58-77, 617.7-77

А. Р. Дроздова, студентка гр. ПМ-31, доц. Галаган Р. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИДИ БІОНІЧНИХ ПРОТЕЗІВ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Анотація. У статті описано види біонічних протезів, їх класифікація за призначенням, функціями та методом управління, переваги та недоліки, з якими можливо стикнутись. Також описано використання біонічних протезів у ветеринарії.

Ключові слова: біонічні протези, косметичні протези, механічні протези, протезування.

ВСТУП

Завдяки прогресу технологій, сфера медицини увібрала в себе низку інновацій, що радикально змінюють підхід до реабілітації та покращують життя людства. Однією з найбільш захоплюючих технологій в цьому контексті є біонічні протези, які відкривають нові горизонти для людей з втраченими або пошкодженими кінцівками. Такі протези не лише замінюють втрачені функції, але й надають можливість повернутися до активного способу життя.

Протези – це механічні пристрої і апарати, які замінюють втрачені сегменти кінцівок або інших частин тіла, що служать для якнайбільшої компенсації функції ушкодженого органа чи виправлення косметичного дефекту [1].

ПРОТЕЗИ ЗА ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ

Протези поділяють на біонічні (робочі) і косметичні.

До біонічних належать протези, які частково або повністю замінюють втрачений орган та виконують його функцію. Косметичні протези просто відтворюють зовнішній вигляд органа. Наприклад, око (рис. 1), вушна раковина, рука, що не згинається (рис. 2), тощо.

Рисунок 1. Косметичний протез ока

Рисунок 2. Косметичний протез руки

У випадку, якщо протез знаходиться за межами людського тіла, як штучні кінцівки, то такий протез називається *екзопротезом*. А протез, що оточений тканинами тіла, це *ендопротез* [1].

Найпростіші біонічні протези – це механічні. Їх керування відбувається за рахунок м’язів, які залишились. Це є дуже поширеним способом протезування,

адаптація до якого займає найменшу кількість часу. У більш складних моделях використовуються датчики, які зчитують нервові імпульси. Такі протези можуть відтворювати дрібну моторику [2].

Гібридні протези – ці протези, які комбінують в собі тяговий та міоелектричний принципи роботи. Основні рухи виконують тяги, тоді як дрібна моторика пальців виконується міоелектричними датчиками та сервоприводами на кожен палець. Ці протези зустрічаються не часто, але вони виправдані у випадках високих рівнів ампутації [3].

Деякі сучасні біонічні протези також оснащені сенсорами, які дозволяють відчувати тиск, температуру та інші фізичні впливи, що допомагає покращити контроль та взаємодію з навколишнім середовищем.

Біонічні протези за своїм призначенням бувають різноманітні:

- **Протези кінцівок**. Замінюють руки та ноги.
- **Очні протези.** Призначені для відновлення зору або заміщення втраченої структури очей. Вони можуть використовувати технології, які передають сигнали в мозок, щоб створити відчуття зору [4].
- **Протези внутрішніх органів.** Використовуються для заміщення або підтримки функцій внутрішніх органів, таких як серце, печінка або нирки. Наприклад, серцеві протези можуть бути використані для заміни втраченого серця.
- **Слухові протези.** Використовуються для покращення або відновлення слуху. Вони можуть бути внутрішніми (імплантованими в середину вуха) або зовнішніми (слухові апарати).
- **Когнітивні протези.** Призначені для підтримки, покращення або відновлення когнітивних функцій. Вони можуть бути корисні для людей з різними захворюваннями або ушкодженнями мозку, такими як інсульт, травма голови, хвороба Альцгеймера, хвороба Паркінсона, аутизм та тощо [5].

ВИДИ ПРОТЕЗІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ПОТРЕБ

Також існують протези для різноманітних потреб, адже найбільша увага приділяється адаптації пацієнта до нового образу життя.

Післяопераційний протез – необхідний на самому початку реабілітації задля звикання пацієнта до змін у тілі. Зазвичай виготовлені з м'яких матеріалів, які не травмують шкіру або тканини тіла.

Початковий протез – використовується на завершальному етапі реабілітації, коли рана вже зажила. Мають просту конструкцію і забезпечують базову функціональність.

Підготовчий протез – потрібний для навчання пацієнта виконувати повсякденні справи з використанням протеза.

Рисунок 3. Спортивний протез

Повноцінний протез – пристрій для довгострокового використання. Забезпечує користувачеві максимальну можливу функціональність, дозволяючи виконувати широкий спектр рухів та дій в повсякденному житті.

Спортивний протез – спеціальний тип протезів, що розроблені для використання у спортивних дисциплінах (рис. 3). Їх особливість полягає в тому, що вони здатні витримувати великі навантаження, можуть бути адаптовані під конкретний вид спорту, комфортно відчуватись під час тренувань чи спортивних змагань [6].

ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ БІОНІЧНИХ ПРОТЕЗІВ

Біонічні протези – дійсно геніальний винахід, але і він має ряд недоліків та переваг.

Переваги:

- повернення функціональності кінцівки;
- можливість адаптувати протез під пацієнта;
- зменшення впливу втрати кінцівки на психічне здоров'я.

Недоліки:

- висока вартість (за даними американської аналітичної компанії Frost & Sullivan, середня ціна сучасних удосконалених протезів варіюється від $5 000 до $50 000 [2]);
- потреба у технічному обслуговуванні;
- ризик того, що протез не приживеться;
- можливість відчуття болі або дискомфорту під час носіння протезу.

БІОНІЧНІ ПРОТЕЗИ У ВЕТЕРИНАРІЇ

Нажаль, іноді тварини також потребують протезування втрачених або ушкоджених кінцівок. Біонічні протези використовуються для відновлення рухливості та функціональності різних частин тіла тварин. Вони можуть бути призначені для заміни втрачених кінцівок, статичних або рухомих частин тіла, таких як кінцівки, хвости, крила тощо.

Біонічні протези у ветеринарії почали використовуватись не так давно, але ця галузь знаходить широке застосування. Наразі відсутнє масове виробництво протезів для тварин. Однак існують компанії, які використовують власні розробки, щоб забезпечити травмованим тваринам комфортний рівень життя, схожий на той, що вони мали до отримання травми.

ЯКІ МОДИФІКАЦІЇ БІОНІЧНИХ ПРОТЕЗІВ ОЧІКУВАТИ У МАЙБУТНЬОМУ?

Майбутні модифікації біонічних протезів будуть спрямовані на покращення їхньої функціональності, природності та зручності використання, щоб забезпечити користувачам максимальний рівень мобільності та комфорту.

Дослідження в області біонічних протезів може привести до розвитку пристроїв, які можуть відновлювати порушені нервові шляхи та відновлювати контроль над рухами та відчуттями.

Наразі більша частина сучасних біонічних протезів вимагає підключення до джерела енергії через дротові з'єднання. У майбутньому можна очікувати розвиток технологій бездротової зарядки, що зробить використання протезів більш зручним.

Також можлива інтеграція штучного інтелекту та машинного навчання. Вони зможуть краще адаптуватися до потреб користувача та навчитися виконувати свої функції шляхом аналізу зібраних даних.

ВИСНОВОК

Біонічні протези стають справжнім проривом у сфері медицини та реабілітації, надаючи людям з втратою кінцівок або органів можливість повернутися до повноцінного життя.

Ці пристрої не лише забезпечують функціональність втрачених органів, але й дозволяють користувачам відчувати себе більш комфортно та незалежно. З використанням передових технологій, таких як міоелектричні датчики та сенсори, біонічні протези стають все більш ефективними та пристосованими до індивідуальних потреб користувачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Протез – Вікіпедія (wikipedia.org). – Режим доступу: www. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Протез

[2] Біонічний протез: сучасний засіб реабілітації. – Режим доступу: www. URL: https://www.enableme.com.ua/ua/article/bionicnij-protez-sucasnij-zasib-reabilitacii-9815

[3] Види протезів кінцівок. – Режим доступу: www.URL: https://health-ukraine.com.ua/uk/vidu-protezov-konechnostey/

[4] Зоровий нейропротез – Вікіпедія (wikipedia.org). – Режим доступу: www. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Зоровий_нейропротез

[5] Нейропротезування – Вікіпедія (wikipedia.org). – Режим доступу: www. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Нейропротезування

[6] Чого очікувати від сучасного протезування кінцівок. – Режим доступу: www. URL: https://superhumans.com/blog/chogo-ochikuvaty-vid-suchasnogo-protezuvannya-kinczivok/

Наук. керівник – к.т.н., доц. Галаган Р.М.

УДК 536.584

А. А. Косінська, студентка гр. ПМ-01, д.т.н., доц. Киричук Ю. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНЕ ВІДСТЕЖЕННЯ УМОВ В ПІДЗЕМНОМУ ПРИМІЩЕННІ

Анотація. У цій статті досліджувалося значення засобів відстеження умов у підземних приміщеннях з двох головних точок зору: захист людей у небезпечних обставинах та збереження якості зберігання продуктів та техніки. Перший розділ розкриває необхідність систем відстеження умов для бомбосховищ, де безпека людства у сучасних реаліях є пріоритетом. Другий розділ розглядає системи для сховищ, що забезпечують оптимальні умови зберігання різноманітних продуктів, овочів або техніки.

Ключові слова: укриття, умови, відстеження.

ВСТУП

На сьогоднішній день, на превеликий жаль, будь-яке підвальне приміщення у житті українця є місцем безпеки та збереженням життя. З сучасними реаліями велику кількість підземних кімнат перебудовують на лад укриття, та доступ до них є 24 години на добу. Під час кожної повітряної тривоги життя начебто зупиняється, дитячі садочки, школи, університети, лікарні та багато інших підприємств повинні використовувати підвальне приміщення(наразі більш відоме як укриття чи бомбосховище) для збереження життя. Але також дуже часто ми можемо побачити, що ці помешкання застосовують як місця для різноманітних б'юті-сфер, магазинів, сервісів з ремонту та інших. В кожній з галузей необхідно дотримуватися певних умов для забезпечення безпеки життєдіяльності користувачів.

Але у інших країнах цивілізованого світу, підземні кімнати найчастіше використовуються на лад складу, для зберігання різної продукції або ж різносторонньої техніки. Різна температура буде по різному впливати на зберігання тих чи інших речей, тому саме у цій статті ми розберемо, які умови є найважливішими для кожної з ситуації та що саме нам допоможе це відслідковувати.

ПІДЗЕМНЕ УКРИТТЯ: БЕЗПЕКА – ПОНАД УСЕ

У підвальному приміщенні, яке використовується як бомбосховище, відслідковування умов відіграє значну роль у забезпеченні безпеки та комфорту перебування людей у ньому. При наближенні небезпеки маленький механізм повинен спостерігати за кожним кутом кімнати для нормальних умов.

Найголовнішими елементами які необхідно відслідковувати є температура, рівень вологості та рівень вуглекислого газу а також інших шкідливих речовин у повітрі. Якщо для спостерігання різних частинок у повітрі ми можемо використовувати вентиляцію.

У неї є різновиди за такими ознаками:

- За способом переміщення повітря(природна, штучна[механічна] та суміщена[природна та штучна одночасно]);
- За напрямком потоку повітря(припливна, витяжна, припливно-витяжна);
- За місцем дії(загальнообмінна, місцева, комбінована).

Виходячи з заданих параметрів та характеристик ми можемо без проблем обрати необхідний вид вентиляції, що забезпечить своєчасне потрапляння кисню та вивільнення вуглекислого газу з іншими речовинами.

Якщо говорити про моніторинг температури та вологості повітря у приміщенні, то для цього вже були створені датчики температури та вологості. На ринку ми можемо побачити зараз їх у великій кількості, пропоную порівняти два найпопулярніших варіанти.[1][2]

Рисунок 1. Розумний датчик температури та вологості TP-Link Tapo T315

Рисунок 2. Датчик температури та вологості Xiaomi Mi Temperature and Humidity Monitor 2

Таблиця 1. Порівняння датчиків TP-Link Tapo та Xiaomi Mi

Характеристика	***Розумний датчик температури та вологості TP-Link Tapo T315***	***Датчик температури та вологості Xiaomi Mi Temperature and Humidity Monitor 2***
Матеріал	Пластик	Пластик
Діапазон вологості	0% ~ 99% RH	0% ~ 99% RH
Діапазон вологості	-20°C ~ 60 °C	0°C ~ 60°C
Живлення	2 батарейки × AAA	Батарейка CR2032
Вага	48 г	20 г
Розміри виробу	62 x 24.3 x 62 мм	43 x 43 x 12.5 мм
Вартість виробу	1 199 грн	299 грн
Можливість підключення смартфону	Наявне	Наявне

Датчики мають як спільні так і відмінні характеристики, на сьогоднішній день можна підібрати велику кількість датчиків, з різними значеннями та можливостями, а підбирати їх необхідно дивлячись на задані умови та необхідні побажання.

ПІДЗЕМНЕ СХОВИЩЕ ДЛЯ ПРОДУКТІВ ТА ТЕХНІКИ: ЗБЕРЕЖЕННЯ ЯКОСТІ

В наших реаліях, коли ми стаємо все більш залежні від техніки та продуктів, підвальні сховища є надійним варіантом забезпечення їх збереження та якості. Необхідно ретельно продумати планування та обладнання такого середовища та підбір необхідних засобів моніторингу, щоб це гарантувало оптимальні умови для зберігання.

Для початку визначимо ці самі оптимальні умови зберігання продуктів та

техніки. Найважливішими у цій справі є температура, вологість, вентиляція та освітленість. Для кожної з умов можна використовувати різноманітні датчики, або ж як і пункті вище об'єднані(в одному приладі датчики, які відповідають за дві умови).

Для контролю температури найкраще використовувати термодатчики, які забезпечують постійний моніторинг і виявляють навіть незначні зміни. Вологість вимірюється за допомогою гігрометрів, що дозволяють уникнути надмірно вологого або сухого середовища, що може пошкодити продукти або техніку, які ми зберігаємо.

Освітлення також є важливим в підземних сховищах. Датчики освітлення можуть автоматично ввімкнути світло при вході або регулювати його яскравість залежно від часу доби.

Для забезпечення вентиляції і свіжого повітря використовуються датчики вітрового потоку або рівня кисню, які активують системи вентиляції при необхідності.

Інтеграція цих датчиків у підземному сховищі забезпечує постійний контроль за умовами зберігання продуктів та техніки, гарантуючи їхню якість та довговічність. Такий підхід до створення сховища дозволяє надійно захистити цінні ресурси від негативного впливу зовнішніх факторів і зберігати їх у найкращому стані протягом тривалого періоду часу.

ВИСНОВОК

Можемо відзначити, що системи відстеження умов в підземних приміщеннях є ключовими як для забезпечення безпеки людей у надзвичайних ситуаціях, так і для забезпечення оптимальних умов зберігання продуктів, овочів або техніки. Впровадження таких технологій сприяє ефективному контролю і збереженню матеріальних цінностей в підземних умовах, що є вирішальним для безпеки та ефективного використання підземних приміщень у різних галузях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Ganna Khimicheva, Oleksii Dziuba Background for developing the parameter control system of the comfort zone of office premises: Development of scientific, technological and innovation space in Ukraine and EU countries – 3rd ed. – Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2021. – p. 101-117.

[2] Монітор мікроклімату (CO2, RH, Temp) AZ-7729 : вебсайт. URL: https://simvolt.ua/monitor-mikroklimatu-co2-rh-temp-az-7729/ (дата звернення: 03.04.2022).

[3] Голінко І.М., Галицька І.Є. Промислове приміщення як динамічний елемент системи керування штучним мікрокліматом Інформаційні системи, механіка та керування. - 2018. - Вип. 18. - С. 104-114. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ismk_2018_18_15

[4] Діордієв В. Т., Кашкарьов А. О., Діордієв О.О. Автоматизована система моніторингу та керування мікрокліматом у теплиці Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2018. - Вип. 8, том 2.

Наук. керівник –д.т.н., доц. Киричук Ю.В.

УДК 621.311

О.О. Логвиненко, студент гр. ПМ-01, к.т.н., доц. Писарець А. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДО ПИТАННЯ ВИБОРУ ВІТРОГЕНЕРАТОРА

Анотація. Одним з шляхів подолання енергетичної кризи є застосування відновлюваних джерел, зокрема, енергії вітру. Тому набувають актуальності питання, пов'язані з дослідженням та вдосконаленням вітроенергетичних установок. Розглянуто переваги використання енергії вітру в енергетиці, будову вітроенергетичних установок, їх класифікацію за потужністю та формою ротора, переваги та недоліки горизонтально- та вертикально-осьових вітрогенераторів, обґрунтовано алгоритм вибору вітроколеса.
Ключові слова: відновлювана енергетика, вітроенергетична установка, вітрогенератор, енергетична ефективність.

ВСТУП

За існуючих темпів енергоспоживання запасів традиційних джерел енергії вистачить на найближчі 100-200 років [1]. Внаслідок збільшення витрат вугілля і нафти як джерел енергії з кожним роком погіршується екологічна обстановка в усьому світі.

Вітрова енергетика є найбільш привабливим рішенням світових енергетичних проблем. Використання енергії вітру не забруднює навколишнє середовище і не залежить від палива. Більш того, вітрові ресурси присутні у будь-якій частині світу і їх достатньо для забезпечення попиту на електроенергію, що неперервно зростає.

Перевагами вітрової енергетики є [2, 3]:

–низька собівартість;

–конкуренція з ядерною, вугільною та газовою енергетикою;

–нульова вартість паливної складової;

–покращення екологічної обстановки за рахунок зниження рівня забруднення оточуючого середовища;

–відсутність ризиків, пов'язаних із нестабільністю цін на викопне паливо;

–уникнення залежності від імпорту енергоресурсів;

–широкий технологічний діапазон прямого використання енергії вітроустановок (автономність або сумісна робота з централізованими мережами, сумісність/сполучність з іншими джерелами поновлюваної енергетики тощо);

–мінімальні терміни введення потужностей до експлуатації.

Сучасна вітроенергетична установка (ВЕУ) представляє собою складну автоматизовану електромеханічну систему з перетворення кінетичної енергії вітрового потоку в електричну із заданою якістю.

Світовий досвід використання ВЕУ свідчить про те, що конструктивно вона повинна містити: вітрогенератор (ВГ), машинне відділення та опору [3].

За потужністю ВЕУ поділяють на наступні [3, 4]:

–малої потужності – до 100 кВт;

–середньої потужності – 100…500 кВт;

–мегаватного класу – 0,5…4 МВт та вище.

Вітрогенератори, що використовуються в якості приводу електричного генератора ВЕУ, поділяють на два основних класи:

- горизонтально-осьові (вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному

потоку);

- вертикально-осьові (вісь обертання вітроколеса перпендикулярна повітряному потоку).

Метою роботи є обґрунтування вибору вітрогенератора для вітроенергетичної установки.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

Основними характеристиками ВГ є площа обмітання, геометричне заповнення, коєфіцієнт потужності, коєфіцієнт швидкохідності [3].

Особливостями роботи горизонтально-осьових ВЕУ є [1-3, 5]:

– високий коефіцієнт використання енергії вітру;

– велике значення номінальної швидкохідності;

– мала кількість лопатей, низька парусність і підвищена стійкість вітроколеса за сильних поривів вітру;

– використання механізмів та систем керування поворотом лопатей для керування частотою обертання вітроколеса;

– високі техніко-економічні показники: питома вартість встановленої потужності приблизно становить 800–1000 дол./кВт, питома металомісткість досягає 150 кг/кВт [5].

Недоліком таких установок є необхідність у пристрої орієнтації на напрямок вітру [2].

Перевагами вертикально-осьових ВЕУ є [2, 3]:

– відсутність системи орієнтації за напрямом вітру, оскільки ефективність роботи ВЕУ з вертикальною віссю визначається лише швидкістю вітру і не залежить від його орієнтації;

– вісь обертання ротора генератора збігається з віссю обертання вітроколеса, тому генератор і редуктор розміщують внизу ВЕУ;

– менше навантаження на опору ВЕУ.

– потужність установки обмежується тільки висотою щогли і потужністю інвертора;

– суттєво менші шумовий фон (до 20–50 дБ), магнітне випромінювання і вібрації;

– висока стійкість до сильних поривів вітру;

– легка і проста конструкція для транспортування та спорудження;

– працездатність у більш широкому діапазоні швидкостей вітру (2–50 м/с) [3].

Проте такі ВЕУ характеризуються меншими коефіцієнтом використання енергії вітру та швидкохідністю.

При цьому ВЕУ з горизонтальною віссю обертання мають більший ККД і меншу вартість.

Алгоритм вибору вітрогенератора складається з наступних кроків:

1) Збір вихідних даних

місцезнаходження ВЕУ, географічні координати, вітрові умови тощо;

2) Аналіз вітрових умов

Вивчення діапазону зміни швидкості, напрямків вітру;

3) Вибір потужності ВЕУ

Розрахунок очікуваної потужності, яку має генерувати ВЕУ;

4) Визначення типу і розмірів ротора

Врахування швидкості вітру, типу технології (горизонтальна або вертикальна вісь), розміру та діаметра ротора, щоб максимізувати використання енергії;

5) Оцінка вартості й економічної ефективності

Аналіз вартості встановлення, ефективність використання енергії, термін окупності тощо.

6) Врахування місцевих умов

Клімат, місцеві стандарти та правила, доступність технічної підтримки тощо.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу особливостей застосування різних вітрогенераторів та порівняння умов їх застосування для подальшого вивчення обрано ВЕУ з горизонтально-осьовим ротором. Такі вітрогенератори набули широкого розповсюдження завдяки високим техніко-економічним показникам. Їх характерною особливістю є більша ефективність за низьких швидкостей вітру порівняно з іншими типами вітрогенераторів, що робить їх особливо корисними для використання в місцевостях зі слабким вітром.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Обґрунтування економічної ефективності використання вітроенергетики в різних регіонах України - Режим доступу: www. URL: http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/17282/1/%D0%A7%D0%B8%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D0%B0.pdf;

[2] Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Ципленков; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с. - Режим доступу: www. URL: https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/%D0%9E%D0%92-2015-02-11.pdf

[3] Основи проектування систем енергозбереження: Методичні вказівки до проведення практичних занять для студентів напряму підготовки 6.051003 «Приладобудування», професійного спрямування «Прилади і системи точної механіки» та «Інформаційні технології в приладобудуванні» // Уклад.: А. В. Писарець, І. В. Коробко. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 55 с.

[4] Вітрогенератори: типи, принцип роботи, ефективність - Режим доступу: www. URL: https://comfortsellers.com.ua/vitroheneratory-typy-pryntsyp-roboty/

[5] В.М. Корендій, Р.В. Зінько, Аналіз переваг і недоліків горизонтально-осьових вітроустановок, Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2012. - № 729. – С. 53-58.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Писарець А.В.

УДК 62-5:002.2:004.9

Є. В. Малахов, студент гр. ПГ-31мп, к.т.н. Рупіч С. С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНЖЕНЕРІЯ НА ОСНОВІ ЗНАНЬ В КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ІНДУСТРІЇ 4.0

Анотація. У статті розглядається концепція Industry 4.0 та її вплив на інженерний процес у контексті Четвертої промислової революції. В основу дослідження покладено підхід Knowledge-Based Engineering (KBE) та його ключові складові, такі як бази знань, експертні системи, інтелектуальні агенти та методи оптимізації. Розглянуто застосування KBE у різних галузях, зокрема в автомобільній та авіаційній промисловості, машинобудуванні, медичній індустрії та електроніці. Описано переваги використання систем KBE, такі як підвищення ефективності та точності проектування, скорочення часу розробки та зменшення витрат на виробництво. Виокремлено ключову роль баз знань у KBE та їх вплив на всі аспекти інженерного процесу. Зазначено перспективи розвитку KBE та його вплив на майбутнє наукових досліджень та практичного застосування у сфері інженерії.
Ключові слова: knowledge-based engineering, knowledge-based systems, Industry 4.0.

ВСТУП

Розвиток технологій виробництва та управління у контексті Четвертої промислової революції, відомої як Industry 4.0, створює нові можливості для підвищення продуктивності та ефективності промислових підприємств. Ключовим фактором є використання підходу Knowledge-Based Engineering (KBE), що ґрунтується на інтелектуальних системах та знаннях для автоматизації та оптимізації інженерного проектування. У цій роботі ми досліджуємо роль KBE в рамках Industry 4.0, аналізуючи його складові та вплив на різні галузі промисловості.

ІНЖЕНЕРІЯ НА ОСНОВІ ЗНАНЬ

Індустрія 4.0 є концепцією, яка виникає в контексті Четвертої промислової революції та передбачає еволюцію технологій виробництва та управління виробництвом [1]. Ця концепція включає в себе цифрові технології, які поєднуються для створення інтелектуальних систем, спрямованих на оптимізацію виробничих процесів та підвищення ефективності промислового виробництва.

Knowledge-based engineering, або інженерія на основі знань, є підгалуззю комп'ютерної інженерії, що використовує знання та інтелектуальні методи для автоматизації різних етапів інженерного проектування [2]. У KBE використовуються експертні системи, бази даних, алгоритми машинного навчання та інші інтелектуальні інструменти для моделювання, аналізу та оптимізації інженерних систем.

Основні складові KBE включають [3-4]:

1. **Бази знань**. Вони використовуються для зберігання і організації інженерних знань. Це можуть бути експертні знання, правила дизайну, параметри виробів, інформація про матеріали та технології виробництва.

2. **Експертні системи**. Вони використовуються для моделювання та використання експертних знань у різних галузях інженерії. Ці системи можуть надавати поради щодо проектування, аналізувати ризики, допомагати у виборі оптимальних рішень тощо.

3. **Інтелектуальні агенти**. Вони використовуються для автоматизації

певних завдань та співпраці з іншими системами у процесі інженерного проектування. Ці агенти можуть виконувати пошук інформації, аналізувати варіанти проектування, розробляти рекомендації тощо.

4. **Методи оптимізації.** Вони використовуються для пошуку оптимальних рішень у складних інженерних задачах. Це можуть бути методи математичного програмування, еволюційні алгоритми, методи штучного інтелекту, нейромережевого моделювання тощо.

Впровадження КВЕ підходу все більше набуває широкого застосування у різних галузях. Серед них можна виділити наступні:

Автомобільна промисловість. Виробники автомобілів використовують КВЕ для розробки нових моделей автомобілів. Системи КВЕ допомагають інженерам автоматизувати процеси проектування, враховувати різні технічні обмеження, стандарти безпеки та вимоги до ефективності пального. Вони також допомагають у виборі оптимальних матеріалів та конструкцій, що забезпечують найкращі показники ефективності та безпеки автомобіля.

Авіаційна та космічна промисловість. В галузі авіації та космічної інженерії КВЕ використовується для проектування та розробки літальних апаратів, двигунів, систем стабілізації та безпеки. Системи КВЕ допомагають інженерам моделювати різні варіанти конструкцій, аналізувати їх характеристики та оптимізувати дизайн для забезпечення високої надійності та безпеки польотів.

Машинобудування та промислове обладнання. У цих галузях КВЕ використовується для розробки та виробництва різноманітного промислового обладнання, машин та устаткування. Системи КВЕ допомагають інженерам автоматизувати процеси проектування, розрахунку та вибору оптимальних компонентів, а також підтримувати процес виробництва та управління якістю.

Медична індустрія. У медичній індустрії КВЕ використовується для розробки медичних приладів, обладнання та інструментів. Системи КВЕ допомагають інженерам враховувати вимоги до безпеки, ергономіки та ефективності виробів, а також оптимізувати їх дизайн для максимального комфорту та ефективності використання.

Електроніка та програмне забезпечення. У цих галузях КВЕ використовується для розробки електронних пристроїв, мікросхем, програмного забезпечення та інших компонентів. Системи КВЕ допомагають інженерам забезпечити сумісність, надійність та ефективність пристроїв, а також оптимізувати їх функціональність та продуктивність.

Вплив КВЕ на інженерну практику на сьогоднішній день важко оцінити, проте він значною мірою визначається спроможністю полегшувати та покращувати різні аспекти інженерного процесу [3-4].

Переваги застосування КВЕ включають підвищення продуктивності та точності проектування, скорочення часу розробки нових продуктів, зменшення витрат на виробництво та підтримку виробничих процесів.

Завдяки використанню систем КВЕ інженери можуть швидше створювати моделі та вибирати оптимальні параметри для своїх проектів, що призводить до підвищення ефективності роботи та точності результатів. В системах, що

функціонують за принципами KBE, краще автоматизується багато етапів інженерного процесу, що дозволяє значно скоротити час, необхідний для розробки та виготовлення нових продуктів. Такий підхід надає можливість інженерам проводити більш ретельний аналіз та оптимізацію своїх проектів, що призводить до покращення якості та надійності виробів, та може допомогти в оптимізації виробничих процесів, включаючи планування виробництва, управління запасами, контроль якості тощо.

Ключовим аспектом у KBE є бази знань, оскільки вони є основою для зберігання, організації та використання інженерних знань [5]. Знання має критичне значення і впливає на всі сфери від дизайну та розробки до виробництва та управління. До ключових факторів баз знань у KBE можна віднести:

- **зберігання інженерних знань.** Бази даних використовуються для зберігання різноманітної інженерної інформації, включаючи технічні дані, стандарти, правила та експертні знання**;**
- **організація інженерних знань допомагає** структурувати інформацію в логічні групи або категорії, що робить їх більш доступними та легше зрозумілими для користувачів**;**
- **використання експертних знань** для розв'язання складних проблем і прийняття рішень у різних аспектах інженерного процесу**;**
- **автоматизація проектування, що надає можливість більш гнучко підходити до** автоматичного створення та аналізу різних варіантів проектів на основі збережених знань та правил**;**
- **підтримка прийняття рішень у** вигляді рекомендацій та порад щодо прийняття рішень у різних ситуаціях, базуючись на накопичених експертних знаннях**;**
- **навчання та розвиток.** Бази знань можуть постійно оновлюватися та поповнюватися новими знаннями та досвідом, що сприяє постійному розвитку та вдосконаленню інженерного процесу**.**

ВИСНОВКИ

Створення і вдосконалення KBE продовжується, оскільки інженери постійно шукають нові способи автоматизації та оптимізації процесів проектування та виробництва. З розвитком штучного інтелекту та представлення організованих знань очікується розширення можливостей з застосування систем, заснованих на знаннях, з подальшим покращенням їх впливу на наукові дослідження та практичне вирішення проблем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Meindl, B., Ayala, N.F., Mendonça, J. and Frank, A.G., «The four smarts of Industry 4.0: evolution of ten years of research and future perspectives», Technological Forecasting and Social Change, Vol. 168, p.120784, 2021 — Режим доступу : www.URL:https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120784

[2] Verhagen, W.J.C., Bermell-Garcia, P., van Dijk, R.E.C., Curran, R., «A critical review of Knowledge-Based Engineering: An identification of research

challenges». Adv. Eng. Inform., Network and Supply Chain System Integration for Mass Customization and Sustainable Behavior 26, p.5–15, 2012 — Режим доступу : www.URL:https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.06.004

[3] Rocca, G.L. «Knowledge based engineering: between AI and CAD. Review of a language based technology to support engineering design», Advanced Engineering Informatics, Vol. 26 No. 2, p. 159–179, 2012 — Режим доступу: www.URL:http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474034612000092.

[4] Cooper D. J., La Rocca G. «Knowledge-based techniques for developing engineering applications in the 21st century». In Proceedings of the 7th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference, Belfast, Northern Ireland, 2007, (AIAA, Reston, Virginia).

[5] Yang, W., Fu, C., Yan, X., & Chen, Z. (2020). «A knowledge-based system for quality analysis in model-based design». Journal of Intelligent Manufacturing, 31(6), 1579–1606. — Режим доступу: www.URL: https://doi.org/10.1007/s10845-020-01535-8.

УДК 628.9.06

Д.С. Малащенко, студ. гр. ПМ-31мп, д.т.н., проф. Киричук Ю.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗУМНИЙ КОТЕДЖ: АВТОМАТИЗАЦІЯ ВСІХ АСПЕКТІВ

Анотація. Дана стаття розглядає різноманітні аспекти автоматизованих систем управління котеджами, зокрема освітленням, поливом, обігрівом, вентиляцією та воротами. У статті висвітлюються переваги інтеграції цих систем у єдину платформу, їхню взаємодію та спільне управління. Окрема увага приділяється можливостям підвищення комфорту життя та енергоефективності за допомогою цих систем. Робота ґрунтується на вивченні наукових джерел та аналізі сучасних тенденцій у галузі автоматизації будівель та комп'ютерно інтегрованих технологій.

Ключові слова: автоматизація, управління котеджем, освітлення, полив, обігрів, вентиляція, розумні ворота, інтеграція систем, енергоефективність.

ВСТУП

Автоматизація котеджів – ключовий аспект у збереженні енергії та підвищенні комфорту. Інтеграція систем управління, як освітлення, полив, опалення, вентиляція та розумні ворота, у єдину систему, забезпечує оптимальний рівень комфорту та енергоефективності. Використання енергоефективних світлодіодних ламп та автоматизованих поливальних систем допомагає зменшити витрати електроенергії. Регулювання обігріву та вентиляції з урахуванням потреб та погодних умов створює оптимальний мікроклімат. Інтеграція систем дозволяє підвищити комфорт, зручність, знизити витрати енергії та негативний вплив на довкілля.

РОЗУМНИЙ КОТЕДЖ: АВТОМАТИЗАЦІЯ ВСІХ АСПЕКТІВ

– **Автоматизований будинок: переваги «розумного котеджу».**

Уявіть будинок, де все автоматично: світло, температура, полив рослин. Це "розумний котедж"", ілюстраційне зображення якого представлене на рисунку 1. Така система економить енергію та ресурси, забезпечує комфорт та безпеку, спрощує життя. Це інвестиція в майбутнє, крок до більш комфортного та безпечного життя.

Рисунок 1 - Ілюстраційне зображення "розумного котеджу"

Переваги "розумного котеджу": а)економія енергії та ресурсів; б)підвищення комфорту та безпеки; в)спрощення повсякденних завдань.

Впровадження "розумного котеджу" - це не лише інноваційний підхід до життя, але й інвестиція в майбутнє. Це крок до більш комфортного, економного та безпечного життя.

– **Світло та затишок: автоматизація освітлення.**

Автоматизація освітлення є ключовою для комфорту та енергоефективності в сучасному житлі, особливо в недостатньо освітлених місцях. Датчики руху та присутності активують світло за потреби, а системи дистанційного керування дозволяють керувати освітленням з мобільних пристроїв або голосовими командами. Окрім традиційних методів автоматизації освітлення, таких як

датчики руху та дистанційне керування, в системах "розумного котеджу" можна використовувати інноваційні рішення та альтернативні джерела освітлення, наприклад, "розумні склопакети".

"Розумні склопакети" (дивись рисунок 2) - це енергоефективні склопакети, оснащені інтегрованими системами регулювання освітлення. Вони поєднують в собі традиційні функції склопакетів (теплоізоляція, шумоізоляція) з можливістю автоматичного регулювання прозорості та освітлення. [1]

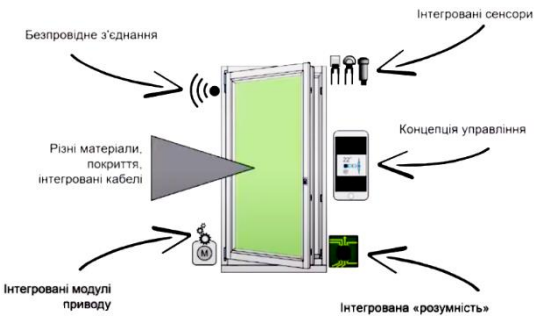


Рисунок 2 - Ознайомче зображення системи «розумний склопакет»

"Розумні склопакети" можуть використовувати різні технології для регулювання прозорості, наприклад: електрохромні матеріали. Ці матеріали змінюють свою прозорість під впливом електричного поля.

– **Зрошування без клопоту: автоматизація поливу.**

Автоматизація поливу стає все більш популярною у сучасному світі, де кожна хвилина має значення. Система включає датчики вологості ґрунту, які вимірюють вологість і програмують режими поливу, забезпечуючи ефективне використання води та оптимальні умови для рослин. [2]

Датчик вологості ґрунту, або гігрометр, вимірює рівень вологості ґрунту і передає цю інформацію до системи контролю поливу. Електроди датчика взаємодіють з ґрунтом, вимірюючи його електричну провідність: вологий ґрунт має високу провідність, сухий - низьку. [3]

Рисунок 3 - Датчик вологості ґрунту (гігрометр) DAT136

Розглянемо для прикладу датчик вологості ґрунту DAT136 на основі мікросхеми LM393, який представлено на рисунку 3. Цей цифровий датчик вологості ґрунту видає сигнал 1 або 0 в залежності від рівня вологості для контролю вологості ґрунту у внутрішньому вирощуванні рослин. Постачається з платою, яка конвертує аналоговий сигнал у цифровий, має синій світлодіод для вказівки живлення та червоний для передачі даних. Може керуватися за допомогою Arduino контролера або іншого мікроконтролера за допомогою спеціальних програм, живлення може бути забезпечене від Arduino контролера, іншого мікроконтролера або зовнішнього джерела напруги напругою 3,3-5 Вольт. [4]

– **Тепло та затишок: автоматизація опалення та вентиляції.**

Автоматизація опалення та вентиляції спрямована на комфорт та ефективне використання енергії. Термостати з датчиками температури регулюють опалення та вентиляцію. Програмовані режими опалення економлять енергію. Системи з рекуперацією тепла зменшують витрати на опалення. Автоматизовані системи дозволяють віддалено контролювати клімат через програми або пристрої.

Важливу роль в вентиляції повітря в котеджах відіграють рекуператори. Рекуператори - це системи теплообміну, які забезпечують ефективний обмін тепла між витяжним та припливним повітрям. Їх головна мета - збереження енергії та підвищення ефективності опалювальних систем. Рекуператори бувають різних типів: перехресноточні, протиточні та прямоточні, принцип дії, профіль та ефективність яких зображена на рисунку 4. У житлових будинках вони використовуються для комфортного мікроклімату, зменшення витрат на опалення та підвищення енергоефективності. [5]

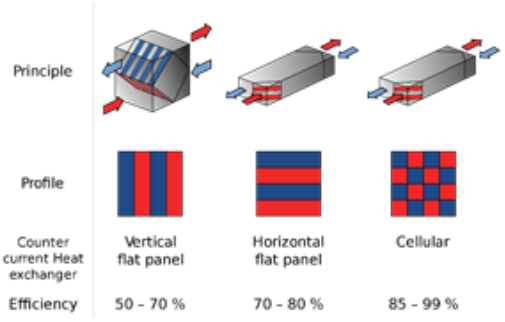


Рисунок 4 - Три топології систем обміну повітрям

– **Безпека та зручність: розумні ворота.**

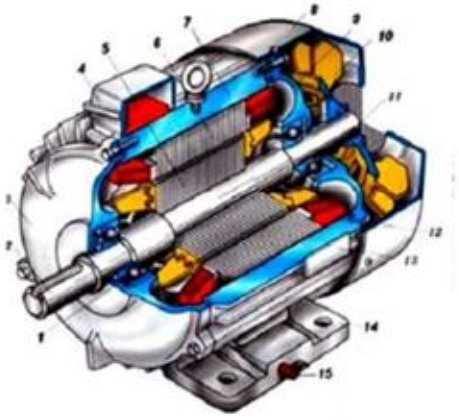


Рисунок 5 - Асинхронний трифазний електродвигун з короткозамкненим ротором: 1 – підшипник, 2 - вал, 3 - підшипниковий щит, 4 - коробка виводів, 5 - осердя ротора з короткозамкненою обмоткою, 6 - осердя статора з обмоткою, 7 - корпус, 8 - кожух вентилятора, 9 - підшипниковий щит, 10 - вентилятор, 11 - підшипник, 12 - обмотка статора, 13 – паспортна табличка, 14 - лапи, 15 - болт заземлення

Розумні ворота використовуються для автоматизації процесу відкриття та закриття воріт. Вони працюють за допомогою спеціальних двигунів, найчастіше використовують трифазні асинхронні та синхронні двигуни, для забезпечення високої потужності та надійності. Найбільш поширеними серед електричних двигунів є електричні асинхронні двигуни, які відрізняються простотою конструкції та обслуговування. Як і будь-який змінний струмовий двигун, асинхронний двигун складається з двох основних частин: статора і ротора (дивись рисунок 5). Статор - це нерухома частина електричної машини, а ротор - частина, яка обертається. Важливо зазначити, що асинхронні двигуни можуть бути використані як генератори і як двигуни.[6]

Розумні ворота працюють за принципом реагування на сигнали з мобільних пристроїв або інших джерел, вмикаючи двигун та керуючи механізмом відкривання або закривання. Управління можливе через спеціальний пульт, мобільний додаток або інтеграцію з системою сигналізації, забезпечуючи зручність та безпеку.

– **Єдина система: інтеграція та взаємодія автоматизованих підсистем.**

Інтеграція автоматизованих підсистем в систему "розумного котеджу" може бути здійснена через центральний контролер або хмарний сервіс. Центральний контролер керує всіма пристроями та системами, а дані про їх стан та налаштування зберігаються для зручного моніторингу та управління. Для об'єднання підсистем використовуються різні протоколи зв'язку, такі як Zigbee,

Z-Wave, Wi-Fi та Bluetooth, і платформа управління є центральним елементом системи, де налаштовуються параметри та створюються сценарії взаємодії. Візуалізація знань (або Knowledge Visualization) — процес представлення інформації у вигляді графіків, діаграм та інших форматів для полегшення їх сприйняття. Це дозволяє швидко розібратися у взаємозв'язках та вибирати необхідні налаштування, а також виявляти проблеми в системі. Застосування візуалізації знань допомагає зручно керувати системами, що робить їх інтеграцію в єдину систему привабливою для користувачів. [7]

ВИСНОВКИ

Отже, концепція "розумного котеджу" вдосконалює комфорт, енергоефективність та безпеку в будинках. Інтеграція автоматизованих підсистем, таких як освітлення, полив, опалення, вентиляція та ворота, створює ефективне середовище. Можливість програмування сценаріїв взаємодії полегшує керування системами та оптимізує використання енергії. Розумні котеджі стають популярними, підвищуючи комфорт та безпеку в будинку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Dunlop, E. D. (2018). Solar cell efficiency tables. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 26(7), 427-436.
[2] "Автоматизація поливу" [Електронний ресурс]. Aquaprice. URL: https://www.aquaprice.com.ua/avtopoliv/
[3] "Гігрометр" [Електронний ресурс]. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Гігрометр
[4] "Датчик вологості ґрунту" [Електронний ресурс]. Arduino.ua. URL: https://arduino.ua/prod521-datchik-vlajnosti-pochvi-gigrometr
[5] "Рекуператор" [Електронний ресурс]. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Рекуператор
[6] Черепанська, І. Ю. Методичні вказівки до виконання домашньої контрольної роботи з навчальної дисципліни "Технічні засоби автоматизації" / І. Ю. Черепанська. — К. : НТУУ “КПІ ім. Сікорського”, 2022.
[7] Meyer R. Knowledge Visualization. Мюнхен : Lfe Medieninformatik, 2009.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Киричук Ю.В

УДК 004.89

О.Є. Мариморич, студент гр. ПК-01, доц. Галаган Р.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ГОЛОСОВОГО УПРАВЛІННЯ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ

Анотація. У роботі представлене дослідження основних напрямків розвитку систем розумного будинку, описані їх переваги і недоліки, а також розглянуто використання голосового управління у системах розумного будинку.
Ключові слова: розумний будинок, голосове управління, автоматизована система.

ВСТУП

У сучасному світі технології надають людям неймовірні можливості покращення комфорту та автоматизації рутинних процесів повсякденного життя. Однією з таких технологій є система розумного будинку, яка може адаптуватися до різних потреб їх власників.

Розумний будинок – це певна система, що складається з пристроїв для будинку, які можуть виконувати певні дії автоматично, без участі людини або за допомогою смартфону чи планшета підключеного до Інтернету [1].

Ці системи складаються з трьох основних типів приладів:

- хаб (контролер) – це керуючий пристрій, що поєднує всі елементи у загальну систему і є мозком цієї системи (у ролі хабу може виступати смартфон, планшет, ноутбук, консоль тощо);
- сенсори та датчики – це пристрої для збору і переадресації зовнішньої інформації, які формують основну інформативну базу, яка використовується хабом для прийняття рішень;
- актуатори – це виконавчі пристрої, які використовуються безпосередньо для виконання певних дій (наприклад, автоматичні вимикачі, сирени, клапани тощо [2]).

ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ РОЗУМНОГО ЖИТЛА, ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

Основні функції та переваги розумних будинків:

- Автоматизація рутинних процесів. Включає в себе автоматичне відкриття дверей, жалюзей, вмикання і вимикання світла тощо.
- Безпека та моніторинг. Включає в себе розумну сигналізацію, відеокамери і системи спостереження для захисту приміщення від грабіжників.
- Енергоефективність. Моніторинг витрат електроенергії та впровадження процесів для її економії і розумного використання.
- Створення комфортних умов для життя. Передбачає різні процеси, основною суттю яких є покращення комфорту і затишку в домі.
- Захист здоров’я людини. Передбачає автоматичне визначення та запобігання накопиченню шкідливих чи отруйних речовин у повітрі, підвищеної вологості, несприятливої температури та інших чинників, які можуть впливати на здоров’я мешканців розумного будинку.
- Розваги та додаткові можливості. Включають в себе різні системи

домашнього кінотеатру, акустичні системи, ігрові приміщення тощо.

- Догляд за дітьми. Включають процеси для виховання, розвитку і розваг дітей.
- Полегшення роботи та зменшення навантаження. Включає в себе різні допоміжні процеси для роботи.
- Догляд за рослинами. Передбачає визначення рівню корисних речовин в ґрунті, автоматичний полив, автоматичне додаткове освітлення тощо.
- Турбота за тваринами. Включає в себе автоматичне годування, процеси для розваг тварин та задоволення їх фізичних потреб.

Основні недоліки розумних будинків:

- Ризик злому. Система розумного будинку може бути зламана хакерами, що може призвести до витоку інформації про дім та його мешканців. Тож такі системи потребують особливого захисту і консультацій зі спеціалістами.
- Ціна встановлення. Більшість елементів системи розумного будинку коштують багато грошей, у деяких випадках ці показники можуть становити тисячі доларів. Проте, звичайно, існують дешеві аналоги, тож встановити розумні технології не так складно, як здається.
- Проблема сумісності. Перед інвестуванням грошей у технології розумного будинку треба добре розуміти, що саме має бути на виході, щоб не витрачати гроші на прилади, які можуть бути погано сумісні між собою.
- Збій сигналу. Якщо більшість приладів розумного будинку працюють через Інтернет, то відключення Інтернету може призвести до збою або некоректної роботи приладів після відновлення. Вирішується безперебійним постачанням Інтернету, кількома підключеними операторами тощо.
- Збій постачання електроенергії. Те саме, що і з Інтернетом, але в більших масштабах, тому що відсутність електроенергії може не лише призвести до збою, але й заблокувати доступ до деяких приладів взагалі, допоки не буде відновлення постачання. Вирішується встановленням системи безперебійного постачання електроенергії або акумуляторів для критично важливих елементів системи розумного будинку.
- Складність використання. Деякі системи розумного будинку можуть здаватися інтуїтивно зрозумілими на перший погляд, але складними у використанні. Такі системи можуть потребувати додаткового вивчення мешканцями дому, щоб зрозуміти, як їх правильно використовувати, що іноді може спричинити труднощі, особливо у літніх людей [3].

ГОЛОСОВЕ УПРАВЛІННЯ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ

Система голосового управління – це система, яка передбачає управління усім домом або конкретними його частинами за допомогою голосу або різних звукових сигналів. Вона дає можливість доступу до хабу навіть без пульту управління, може допомогти набагато швидше і зручніше налаштовувати

параметри автоматизованої системи і ще сильніше спрощує різні процеси розумного будинку.

Система звукового управління може зчитувати голос або певні голосові команди чи сигнали, аналізувати їх і робити певні дії на основі отриманих вказівок. Так як налаштувати ці команди можна будь-яким чином, вони відкривають доступ до безмежного креативу та варіативності поліпшення розумного будинку. Якість таких систем залежить в основному від датчиків, які приймають звук. За допомогою голосового управління можна робити усе те, що могло би робитися напряму з хабу, але без необхідності носити його з собою, або підходити до нього і робити це вручну.

У наш час системи голосового управління лише починають набирати популярність, проте вже існує багато технологій, голосових помічників та датчиків, спеціально створених для потреб розумного будинку. Такі датчики можуть бути встановлені в усіх кімнатах, що надає доступ до будь-яких елементів розумного дому з будь-якого місця у будинку.

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ СИСТЕМИ ГОЛОСОВОГО УПРАВЛІННЯ

Переваги систем голосового управління:

- Швидкість та комфорт. Використання звукових команд простіше та зручніше, ніш необхідність щось вмикати вручну, особливо якщо зайняті руки.
- Доступність з будь-якої точки дому. За допомогою системи голосового управління можна вмикати і вимикати світло, кондиціонери, нагрівачі та інші прилади, знаходячись у будь-якій кімнаті з голосовими датчиками.
- Ціна. Звичайно, високоякісні датчики можуть коштувати дорого, але для простих потреб людини може вистачити навіть найдешевших датчиків, які можуть бути встановлені по усьому периметру будинку.
- Креатив. Можна використовувати будь-які голосові команди та голосових асистентів для управління будинком, що відкриває безмежний доступ до фантазій і креативу.
- Сумісність. Голосове управління можна підключити майже до будь-яких приладів розумного будинку, що дає можливість автоматизувати за допомогою голосу майже будь-який процес у будинку, якщо він може бути автоматизований без голосу.

Недоліки систем голосового управління:

- Зовнішні чинники. Різні шуми і звуки можуть впливати на те, наскільки чітко система буде зчитувати команди, тож у деяких випадках можуть знадобитися додаткові засоби фільтрації.
- Погана система розпізнавання голосу. Хоча технології зчитування голосу зараз розвиваються дуже добре, все одно навіть найкращі системи, що існують у сучасному світі, можуть не завжди розпізнати команди правильно або взагалі не розпізнати їх. Це залежить від типу голосу, чіткості вимови, мови людини та інших факторів.

- Ризики для безпеки конфіденційності. Більшість голосових асистентів та датчиків не мають нормальної системи захисту, тому можуть стати легкою мішенню для хакерів, що може призвести до витоку конфіденційної інформації. Це обумовлено тим, що більшість систем оброблюють голосові команди в хмарі. Проте зараз вже існують системи, які оброблюють команди локально і їх стає ще більше, що робить використання таких систем набагато безпечнішим. Окрім того, консультація зі спеціалістами в цій області може допомогти встановити максимально безпечну систему [4].

ВИСНОВКИ

У підсумку можна сказати, що голосові системи зараз набирають популярність і є актуальною темою в сфері автоматизації розумного будинку, особливо з розвитком технологій штучного інтелекту та нейромереж. У найближчому майбутньому такі технології поширяться в масах і стануть основою автоматизації для різних процесів розумного будинку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Smart Home: Definition, How They Work, Pros and Cons — Investopedia. – Режим доступу: www. URL: https://www.investopedia.com/terms/s/smart-home.asp

[2] Розумний дім – Вікіпедія (wikipedia.org). – Режим доступу: www. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Розумний_дім

[3] Understanding the Pros and Cons to Smart Home Technology – ECO Smart Home Pros. – Режим доступу: www. URL: https://ecosmarthomepros.com/pros-and-cons-of-smart-home-technology/

[4] Voice Control in the Smart Home - What you Need to Know. – Режим доступу: www. URL: https://htacertified.org/app/articles/voice-control-in-the-smart-home/

Наук. керівник – к.т.н., доц. Галаган Р.М.

УДК 004.89

А.А. Сакута, студентка гр. ПК-01, доц. Галаган Р. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА МОДУЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕМОЦІЙ ТА ОЗВУЧУВАННЯ ТЕКСТУ ДЛЯ СЕРВІСНОГО РОБОТА

Анотація. Представлено результати розробки програмного забезпечення для сервісного робота, за допомогою якого визначаються емоції та озвучується текст. Описані бібліотеки, що використовуються, та принципи роботи програмного забезпечення.

Ключові слова: сервісні роботи, програмне забезпечення, Python, бібліотека, gTTS, OpenCV2, DeepFace.

ВСТУП

Програмне забезпечення (ПЗ) є невід'ємною частиною будь-якої роботизованої системи, оскільки воно визначає поведінку робота. ПЗ для робототехнічних систем – це набір програм, алгоритмів, інструкцій та інших компонентів, які використовуються для керування та управління роботами. Подібне ПЗ може включати в себе різноманітні складові, такі як операційні системи, програми для програмування роботів, модулі візуалізації, алгоритми штучного інтелекту для прийняття рішень, системи відслідковування та навігації, інтерфейси для взаємодії з користувачем тощо [1].

ПЗ для робототехнічних систем використовується для програмування та керування роботами в різних галузях, таких як виробництво, медицина, дослідження, обслуговування, аграрний сектор тощо. Це дозволяє роботам виконувати різноманітні завдання, від простих маніпуляцій до складних операцій з обробки даних та розв'язання складних завдань [1].

Метою цієї роботи є створення програмного модуля сервісного робота. Цей модуль складатиметься з частин, що відповідають за зір робота (сканування та визначення емоцій людини) та за озвучення реакції робота на ту чи іншу емоцію.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕМОЦІЙ ЛЮДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ OPENCV2 І DEEPFACE

DeepFace є відкритою бібліотекою, яка розроблялася спільнотою програмістів та дослідників. Інформацію про DeepFace, його функціональні можливості та способи використання можна знайти у документації, яка доступна на сторінці проекту на GitHub або в активних форумах та спільнотах, пов'язаних з машинним навчанням та обробкою зображень [2].

Основна мета DeepFace – розпізнавання осіб на фотографіях з високою точністю. Однак ця бібліотека також може використовуватися для аналізу емоцій на обличчі, виявлення віку, статі та інших атрибутів.

Алгоритм розпізнавання обличчя та емоцій працює в кілька етапів: попередня обробка зображення, виявлення ключових точок обличчя, екстрагування ознак, аналіз емоційних патернів, класифікація емоцій та відображення результатів. Під час попередньої обробки зображення здійснюється вирівнювання розмірності та нормалізація, що допомагає підготувати зображення для подальшого аналізу. Потім DeepFace використовує навчені алгоритми для виявлення ключових точок на обличчі, таких як очі, ніс,

рот тощо, які використовуються для подальшого аналізу. Навчені нейронні мережі використовуються для екстрагування ознак з обличчя, включаючи текстурні особливості, форму обличчя та розташування очей. Після цього DeepFace аналізує патерни на зображенні, які вказують на певні емоції, і застосовує класифікатор для визначення ймовірності кожної емоції на обличчі. Результати аналізу представляються у вигляді текстового відображення з переліком емоцій та їх ймовірностями або у вигляді графічного відображення з позначенням емоцій на обличчі [2].

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) – це бібліотека комп'ютерного зору, що знаходить широке застосування у різних областях. Вона використовується для обробки зображень, відеоаналітики, розпізнавання об'єктів і класифікації, автоматизації виробництва, робототехніки та розробки додатків для розпізнавання облич. OpenCV надає можливості для виявлення облич, аналізу емоцій, відстеження руху та багато іншого. Це потужний інструмент, який допомагає вирішувати різноманітні завдання в області комп'ютерного зору та обробки зображень [3, 4].

Обробка зображень в OpenCV відбувається за допомогою різних методів та алгоритмів, які працюють з пікселями зображення. Вона включає в себе такі операції, як фільтрація, зміна розміру, вирізання, виправлення кольорів, виявлення об'єктів, відстеження руху, розпізнавання облич та багато інших [3].

Таким чином, OpenCV та DeepFace є ефективними інструментами для розпізнавання та аналізу емоцій на зображеннях.

ОЗВУЧЕННЯ ТЕКСТУ ЧЕРЕЗ GTTS PYTHON

Бібліотека gTTS (*Google Text-to-Speech*) – це бібліотека Python та інструмент CLI для взаємодії з API перетворення тексту в мову з використанням інструментів Google. Може записувати вимовлені дані у файл або файлоподібний об'єкт (bytestring) для подальших маніпуляцій зі звуком [5].

Щодо аналогічних бібліотек, то існують інші інструменти для синтезу мовлення, які можна використовувати в Python. Наприклад, pyttsx3, pyttsx, SpeechRecognition (який також має можливість синтезу мовлення) та інші. Кожна з цих бібліотек має свої особливості та може надавати різний функціонал для синтезу мовлення.

ПРИКЛАД КОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕМОЦІЙ ТА ОЗВУЧУВАННЯ ТЕКСТУ

На рис. 1 наведено код мовою Python, що дозволяє визначати емоції людини у реальному часі. У даному коді OpenCV використовується для роботи з відеопотоком з вебкамери та обробки зображень, а DeepFace – для визначення емоцій. Послідовність дій наступна:

1. Ініціалізація камери: OpenCV ініціалізує відеопотік з вебкамери за допомогою **cv2.VideoCapture(0)**.
2. Зчитування кадрів: OpenCV зчитує кадри з вебкамери за допомогою методу **cap.read()**.

3. Обробка зображень: OpenCV перетворює кадри зображень у відтінки сірого та визначає обличчя за допомогою каскаду класифікаторів Хаара (Haar Cascade Classifier).
4. Визначення емоцій: після того, як на зображені знайдене обличчя, підключається бібліотека DeepFace для аналізу емоцій (результати аналізу використовуються для визначення домінуючої емоції на кожному обличчі).
5. Відображення результатів: OpenCV відображає обличчя на відеопотоці та додає текст з визначеною емоцією над кожним обличчям.
6. Обробка клавіш: Код перевіряє натискання клавіші 'Enter' для виходу з програми.
7. Завершення роботи: Після виходу з циклу код закриває відеопотік та вікна.

```python
import cv2
from deepface import DeepFace

# Ініціалізуємо OpenCV камеру
cap = cv2.VideoCapture(0)

while cap.isOpened():
    # Зчитуємо кадр з вебкамери
    success, image = cap.read()
    if not success:
        print("Could not read frame")
        break

    # Перетворюємо кадр у BGR кольори (OpenCV використовує BGR формат)
    gray_image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    # Визначаємо обличчя за допомогою OpenCV
    face_cascade = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.haarcascades + 'haarcascade_frontalface_default.xml')
    faces = face_cascade.detectMultiScale(gray_image, 1.3, 5)

    for (x, y, w, h) in faces:
        # Обрізаємо обличчя з зображення
        face_roi = gray_image[y:y+h, x:x+w]

        # Використовуємо DeepFace для аналізу емоцій
        result = DeepFace.analyze(image, actions=['emotion'], enforce_detection=False)

        # Перевіряємо, чи є результат аналізу та чи визначено обличчя
        if result and 'emotion' in result[0]:
            # Отримуємо значення емоції
            emotions = result[0]['dominant_emotion']

            # Відображаємо текст з визначеною емоцією
            cv2.putText(image, f'Emotion: {emotions}', (x, y-10), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.9, (0, 255, 0), 2)

        # Позначаємо обличчя на зображенні
        cv2.rectangle(image, (x, y), (x+w, y+h), (255, 0, 0), 2)

    # Відображаємо кадр
    cv2.imshow('Emotion Detection', image)

    # Виходимо з циклу, якщо користувач натиснув клавішу 'Enter'
    if cv2.waitKey(1) == 13:
        break

# Закриваємо відеопотік та вікна
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Рисунок 1. Код на Python, що визначає емоції людини у реальному часі

На рис. 2 наведено код на Python, що дозволяє озвучувати текст.

```python
# українська
from gtts import gTTS
import os

text = input("Введіть текст для озвучення: ")
tts = gTTS(text=text, lang='uk')
tts.save("output.mp3")
os.system("start output.mp3")
```

Рисунок 2. Код на Python, що озвучує введений з клавіатури текст

У цьому коді бібліотека gTTS використовується для перетворення текстового введення, отриманого від користувача, на аудіофайл з мовленням:

1. Користувач вводить текст, який він хоче перетворити на мовлення.
2. Бібліотека gTTS використовується для створення аудіофайлу з введеного тексту.
3. Отриманий аудіофайл зберігається з ім'ям "output.mp3".
4. Аудіофайл відтворюється з використанням системного плеєра.

У цьому коді бібліотека os використовується для взаємодії з операційною системою (а конкретно функція os.system() використовується для виконання команди в командному рядку операційної системи) [6].

ВИСНОВКИ

Таким чином, було розроблене ПЗ для сервісного робота, за допомогою якого визначаються емоції та озвучується текст. В подальшому воно буде об’єднане із іншими програмними модулями сервісного робота для створення завершеного зразку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Робототехніка. – Режим доступу: www.URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Робототехніка
[2] DeepFace. – Режим доступу: www.URL: https://github.com/serengil/deepface/blob/master/README.md
[3] Офіційний сайт бібліотеки OpenCV. – Режим доступу: www.URL: https://opencv.org/
[4] Розробка програм для цифрової обробки зображень з застосуванням OPENCV: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / М.В. Боровицький; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - 83с.
[5] Документація бібліотеки gTTS Python. – Режим доступу: www.URL: https://gtts.readthedocs.io/en/latest/
[6] Офіційний сайт бібліотеки OS Python. – Режим доступу: www.URL: https://docs.python.org/3/library/os.html

Секція 5. Інформаційно-вимірювальні технології

УДК 519.21, 006.91

Л.В. Брацлавська, студентка гр. ПІ-31мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ПОМИЛКОВИХ РІШЕНЬ ПРИ ПРОЦЕДУРІ КОНТРОЛЮ

Анотація. Робота розглядає вплив випадкових похибок вимірювання на якість процедур контролю відповідності технічних об'єктів нормативним вимогам. Застосовуючи формули умовних ймовірностей та теорему Байєса, отримано аналітичні вирази для обчислення ймовірностей різних ситуацій при контролі. Досліджено вплив різних факторів на ймовірності виникнення помилкових рішень.

Ключові слова: ймовірність помилкових рішень, процедура контролю, хибна відмова, невизначена відмова, граничне значення, похибка

ВСТУП

Неідеальність виробничого процесу та непередбачені фактори призводять до відхилень контрольованих параметрів від норм. Ці відхилення мають випадковий характер та підпорядковані нормальному розподілу зі стандартним відхиленням σx. Для контрольованих параметрів встановлюються гранично допустимі значення.

ХИБНА ТА НЕВИЗНАЧЕНА ВІДМОВА ПРИ ВЕРХНЬОМУ ГРАНИЧНОМУ ЗНАЧЕНІ

Процедура контролю спрямована на визначення відповідності об'єктів нормам. Однак, через похибки вимірювань можуть виникати помилкові результати, розглядаються чотири можливі випадки подій: правильна ідентифікація об'єкта як придатного $(В, П)$, помилкове визначення придатного$(В, \overline{П})$, невиявлена непридатність $(\overline{В}, П)$ та правильне визначення непридатного$(\overline{В}, \overline{П})$. При аналізі контрольних ситуацій важливо враховувати можливість помилкових рішень через випадкові похибки вимірювань. Результат вимірювання (Z) обумовлений не лише станом об'єкта (X), але й випадковою похибкою (Y). Ця залежність виражається через формули ймовірності:

$$P(В, \overline{П}) = P(В)*P(\overline{В}|П) \quad (1)$$

$$P(\overline{В}, \overline{П}) = P(\overline{В})*P(\overline{П}|В) \quad (2)$$

Вони враховують можливість правильного або помилкового визначення придатності об'єкта.

$$P(В|\overline{П}) = \frac{P(В)*P(\overline{В}|П)}{P(В)*P(\overline{В}|П)+P(\overline{В})*P\left(\overline{П}\middle|В\right)} \quad (3)$$

Згідно з формулою Байєса (3)[1], ймовірність того, що об'єкт є придатним (В), при умові, що його визнано непридатним $(\overline{П})$, обчислюється за допомогою апріорної ймовірності придатності та ймовірностей різних сценаріїв "непридатності". У чисельнику цієї формули - добуток, що відповідає ймовірності правильного стану об'єкта, але з помилковим результатом вимірювання, що призводить до хибної тривоги. У знаменнику сумуються ймовірності всіх можливих сценаріїв "непридатності", включаючи помилкові визначення придатності та правильне визначення непридатності.

Подія "хибної тривоги" відбувається, коли об'єкт, який насправді є придатним, помилково визнається як непридатний. Це може статися з двома

умовами (Рисунок 1):

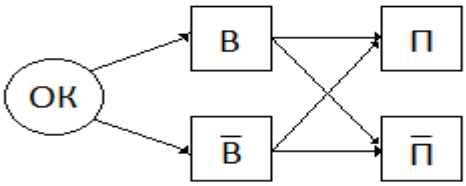


Рисунок 1. Схематичне зображення умов виникнення подій

1. Об'єкт є придатним (В), і результат вимірювання правильно відображає його стан (П). Тобто, навіть при наявності похибки вимірювання, правильне рішення не порушується.
2. Об'єкт насправді непридатний (В), але через похибку вимірювання результат хибно визнається придатним. Ця ситуація називається "невиявленою невідповідністю", коли після вимірювання об'єкт помилково вважається придатним, хоча це не так.

$$P(B,\overline{П}) = \frac{P(\overline{B})*P(П|\overline{B})}{P(\overline{B})*P(П|\overline{B})+P(B)*P(П|B)} \quad (4)$$

Формула (4) визначає ймовірність хибної тривоги, де $P(\overline{B})*P(П|\overline{B})$ - це абсолютна ймовірність невизначеної відмови.

Будемо розглядати події в околицях верхньої границі:

$$P_{хв} = P[(x_н < x < x_в), z > x_в]z = x + y \quad (5)$$

Це ймовірність того, що об'єкт за параметром X потрапляє в допусковий інтервал, але через позитивну похибку у результат Z виходить за верхню межу Хв, тобто об'єкт невірно визнається придатним.

Так як події (В, $\overline{П}$) - залежні, то чисельник σ:

$$P(B,\overline{П}) = P(B)*P(\overline{П}|B) \quad (6)$$

Щоб прийти до незалежної величини, підставимо в (5) Z=X+Y та зробимо перетворення:

$$P_{хв} = P[(x_в < x < x_в), y > x_в\text{-}x] \quad (7)$$

Проаналізуємо область у координатній системі (X, Y), де похибка Y впливає на результат вимірювання X, що призводить до хибної тривоги. Ця область виділена на Рисунку 2. Хибна тривога виникає, коли істинне значення X перетинається з областю, де похибка Y призводить до неправильного визначення об'єкта як непридатного.

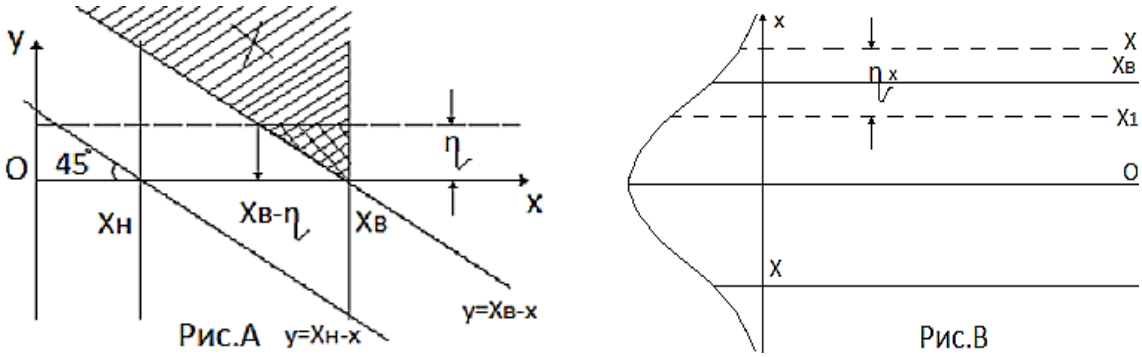


Рисунок 2. Хибна відмова

Найбільший вплив спостерігається, коли X = Хв. Таким чином, існує

значення η, при якому вплив похибки можна ігнорувати. Це значення η = 3σy, де σy - стандартне відхилення Y. При цьому з імовірністю 99,73% похибка не перевищує η. Таким чином, при X > Xв + η можна знехтувати хибною відмовою.[3]

Тоді вираз (7) буде:

$$P_{хв} = P[(x_в\text{-}\eta < x < x_в), (x_в\text{-}x < y < +\eta] \quad (8)$$

- область виділена товстими лініями.

Визначившись з границями інтегрування запишемо:

$$P_{хв} = \int_{x_в}^{x_в} f(x)dx \int_{x_в\text{-}x}^{+\eta} f_1(y)dy \quad (9)$$

Другій складовій у знаменнику (3) відповідає:

$$P(\overline{В}, \overline{П}) = p[x > x_в, z > x_в] = P(x)x_в, (y > x_в\text{-}x) \quad (10)$$

Таким чином маємо:

$$P(\overline{В}, \overline{П}) = \int_{x_в}^{+\infty} f(x)dx \int_{x_в\text{-}x}^{+\eta} f_1(y)dy \quad (11)$$

Прийняти обчислення за виразом (6) - абсолютний ризик та виразом (4), підставивши в нього (7) та (8) при різних співвідношеннях σy/σx при різних значеннях довжини допускового інтервалу

$$T = x_в\text{-}x_н = k*\sigma_x, \quad (12)$$

де $k = 1{,}5; 2; 2{,}5$

Задачу аналізу невизначеної відмови об’єкта (В) і підтвердження його придатності (П) можна розділити на дві основні частини. По-перше, необхідно оцінити ймовірність виникнення невизначеної відмови перед початком процедури оцінки.[2] По-друге, треба визначити, наскільки можна довіряти результату, коли об’єкт визнається придатним (П), оскільки існує можливість неправильного рішення (Т1).

Формула Байєса (14) дозволяє врахувати ці дві аспекти:

$$P(\overline{В}, П) = \frac{P(\overline{В})*P(П|\overline{В})}{P(\overline{В})*P(П|\overline{В})+P(В)*P(П|В)} \quad (13)$$

Розглянемо ситуацію біля верхньої межі Xн, але з областями Xв і Xв’:

$$P_{н\,в} = P[x > x_в, (x_н < z < x_в)] \quad (14)$$

або

$$P_{н\,в} = P[x > x_в, (x_н\text{-}x < z < x_в\text{-}x)] \quad (15)$$

Найбільший вплив похибки вимірювання буде при X=Xв і похибки приймає від’ємне значення(-η) (Рисунок 3).

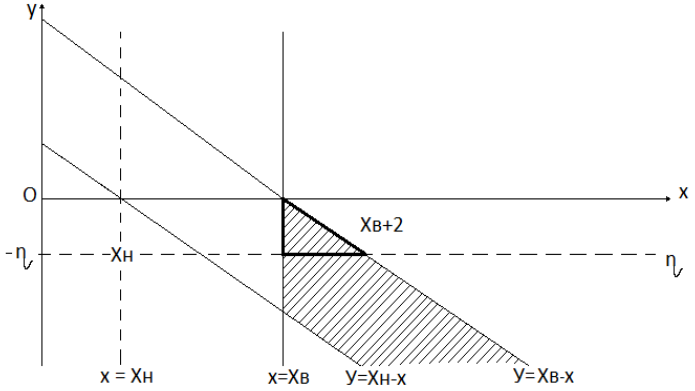


Рисунок 3. Область похибки вимірювання

Формула (16) визначає апріорну ймовірність виявлення невизначеної відмови в області, де параметр X перебуває між Хв та Хв + η , а Y перебуває в межах від -η до Хв . Це означає, що об'єкт може бути визнаний відмінним від придатного, хоча йому насправді відповідає норма.

$$P_{н\,в} = P[(x_в < x < (x_в + \eta), -\eta < y < x_в] \quad (16)$$

$$P_{н\,в} = \int_{x_в}^{x_в+\eta} f(x)dx = \int_{-\eta}^{x_в-x} f_1(y)dy \quad (17)$$

Визначемо другу складову знаменника виразу (13)

$$P(В) = P(П|В) = P[(x_н < x < x_в), x_н < z < x_в] = P[(x_н < x < x_в), x_н - x < z < x_в - x] \quad (18)$$

Врахуємо що з ймовірністю 99,73% виконується нерівність (- η<y< η) запишемо

$$P(В, П) = \int_{x_н}^{x_в} f(x)dx = \int_{-\eta}^{x_в-x} f_1(y)dy \quad (19)$$

– складова P(В)*P(П|В).

ВИСНОВОК

У даній роботі було проведено дослідження ймовірності помилкових рішень при процедурі контролю, розглянуто проблеми, пов'язані з оцінкою придатності об'єктів у виробничих процесах з урахуванням випадкових похибок вимірювання. Було досліджено виникнення хибних тривог та невизначених відмов у процесі контролю, визначено апріорну ймовірність невизначених відмов, а також оцінено, наскільки можна довіряти отриманим результатам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Огірко О. І., Галайко Н. В. О-36 Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник / О. І. Огірко, Н. В. Галайко. – Львів: ЛьвДУВС, 2017. – 292 с

[2] ДСТУ 3514-97 Державний стандарт України. Статистичні методи контолю та регулювання. Терміни та визначення. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://metrology.com.ua/ntd/skachat-dstu-gost-gost-r/dstu/dstu-3514-97/

[3] Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б.. В 68 Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. - Вінниця: ВДТУ, 2001. –219с.

Наук. керівник –д.т.н., проф. Володарський Є.Т.

УДК 504.064

П.Р. Васюк, І.С. Богдан, П.В. Гавриленко студенти гр. ПІ-12
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ДИНАМІКИ УТВОРЕННЯ ХЛОРОФІЛУ В ЛИСТЯХ ДЕРЕВ

Анотація. У даній роботі наведено результати дослідження динаміки утворення хлорофілу в листках дерев. Описано та порівняно три методи дослідження динаміки утворення хлорофілу: спектроскопія, флуоресценція, візуалізація. Розглянуто фактори, які впливають на динаміку утворення хлорофілу, такі як: світло, температура, вода та поживні речовини. І надано рекомендації щодо вибору методу дослідження з урахуванням конкретних потреб. Зроблений висновок, що вибір інформаційно-вимірювальної технології для визначення динаміки утворення хлорофілу в листках дерев залежить від конкретних потреб дослідження.

Ключові слова: Хлорофіл, динаміка, спектроскопія, флуоресценція, візуалізація, дослідження

ВСТУП

Дослідження фотосинтезу [1] є основою для розробки автоматизованих методів керування ростом рослин, а також для експрес діагностики стану рослинних організмів у сільському господарстві та при проведенні екологічного моніторингу. Відомо, що на ефективність фотосинтезу впливають, як природні умови так і зовнішні фактори, зокрема стресового характеру. Хлорофіл, що бере участь у процесі фотосинтезу, може служити джерелом необхідної інформації про подібні зміни.

Хлорофіл - це зелений пігмент, який відіграє ключову роль у фотосинтезі, процесі, за допомогою якого рослини перетворюють сонячну енергію в хімічну енергію [2]. Хлорофіл поглинає світло, яке використовується для активації хімічних реакцій, що призводять до утворення глюкози.

Вивчення динаміки утворення хлорофілу в листках дерев може допомогти нам краще зрозуміти, як рослини реагують на різні фактори навколишнього середовища, такі як світло, температура, і доступність поживних речовин, а отже і вплинути на ріст рослин.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є дослідження динаміки утворення хлорофілу в листках дерев за допомогою інформаційно-вимірювальних технологій на базі оптичних методів.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Існує ряд інформаційно-вимірювальних технологій, які можна використовувати для визначення динаміки утворення хлорофілу в листках дерев. Ці технології базуються на оптичних методах [1]: спектроскопія, флуоресценція та візуалізація. Розглянемо ці методи більш детально.

Спектроскопічний метод.

Спектроскопія [3] - це метод, який використовує вимірювання поглинання або випромінювання електромагнітного випромінювання для визначення концентрації хімічних речовин. Спектроскопія може бути використана для вимірювання концентрації хлорофілу в листках дерев, що дозволяє досліджувати динаміку його утворення.

Існує кілька типів спектроскопії, які можна використовувати для дослідження хлорофілу:

1. Абсорбційна спектроскопія: Цей метод вимірює поглинання світла зразком хлорофілу. Різні довжини хвилі світла відповідають різним електронним переходам в молекулі хлорофілу. Вимірюючи поглинання світла на певних довжинах хвилі, можна визначити концентрацію хлорофілу в зразку.
2. Флуоресцентна спектроскопія: Цей метод вимірює флуоресценцію хлорофілу, тобто випромінювання світла з більшою довжиною хвилі, ніж поглинуте. Флуоресценція хлорофілу залежить від його концентрації, а також від інших факторів, таких як температура і pH.
3. Інфрачервона спектроскопія: Цей метод вимірює поглинання інфрачервоного випромінювання зразком хлорофілу. Різні частоти інфрачервоного випромінювання відповідають різним вібраціям атомів в молекулі хлорофілу. Вимірюючи поглинання інфрачервоного випромінювання на певних частотах, можна визначити концентрацію хлорофілу в зразку, а також його структуру.

Переваги спектроскопічних методів - це швидкість, точність та неінвазивність.

Недоліки спектроскопічних методів – це вартість та складність інтерпретації даних.

Флуоресцентні методи [4-5].

Флуоресценція - це явище, при якому молекула поглинає фотон світла з певною довжиною хвилі, а потім випромінює фотон світла з більшою довжиною хвилі. Цей принцип використовується для дослідження динаміки утворення хлорофілу в листках дерев і полягає в поглинанні фотоном світла, що потім переходить з основного стану в збуджений. Збуджений стан нестабільний, і молекула швидко повертається в основний стан, випромінюючи фотон світла з більшою довжиною хвилі.

Прилад, який використовують для вимірювання флуоресценції хлорофілу називають флуориметр. Він випромінює світло на зразок хлорофілу і вимірює інтенсивність флуоресцентного світла, що випромінюється зразком.

Переваги флуоресцентного методу – швидкість, чутливість та неінвазивність.

Недоліки флуоресцентного методу –складність, інтерпретація даних та вплив різних факторів на результати вимірювання. Використання флуоресцентного методу:

Метод візуалізації.

Візуалізація - це метод, який використовує зображення для отримання інформації про об'єкт. Цей метод може бути використаний для вимірювання кількості та розподілу хлорофілу в листках дерев, що дозволяє досліджувати динаміку його утворення. Існує кілька методів візуалізації, які можна використовувати для дослідження хлорофілу:

1. Фотографія - це простий і доступний метод візуалізації хлорофілу. Фотографії листків дерев можна зробити за допомогою цифрової камери

або смартфона.

2. Мікроскопія - це метод візуалізації, який дозволяє отримати детальні зображення листків дерев. За допомогою мікроскопа можна дослідити розподіл хлорофілу в клітинах листа.
3. Гіперспектральна візуалізація - це метод візуалізації, який дозволяє отримати зображення листків дерев в сотнях або тисячах вузьких спектральних смуг. Цей метод дозволяє дослідити не лише концентрацію хлорофілу, але й інші характеристики листків, такі як структура і хімічний склад.

Переваги візуалізаційних методів – наочність, простота та неінвазивність.

Недоліки візуалізаційних методів – якість зображення, інтерпретація даних, складність та ціна.

Отже всі перераховані методи можуть використовуватись для дослідження динаміки утворення хлорофілу в листках дерев, а також дозволяють оцінити вплив різних факторів (світло, температура, доступність поживних речовин, стресові фактори та інше) на утворення хлорофілу [1]. Всі перераховані методи є неінвазійними, а отже не наносять шкоду рослинам. В той же час при обранні методу дослідження необхідно враховувати конкретні вимоги до обладнання. Наприклад: якщо прилад для оцінки динаміки утворення хлорофілу в листях рослин повинен відрізнятися високою швидкодією та бути простим у використанні та то рекомендується використовувати флуоресценцію; якщо головна вимога, це наочність отриманих результатів, то рекомендується використовувати методи візуалізації.

ВИСНОВКИ

Результатом роботи є вибір інформаційно-вимірювальної технології для визначення динаміки утворення хлорофілу в листках дерев залежить від конкретних потреб дослідження. Можна зробити висновки, що оптичні явища, які виникають під час фотосинтезу, можуть бути використані для ефективної діагностики фізіологічного стану рослин, що дозволяє виявляти порушення у їх розвитку та життєдіяльності на ранніх стадіях. Проведений огляд показав, що найточніші результати забезпечують прилади, в основі роботи яких лежить флуоресцентні методи. Покращення технічних засобів для аналізу стану рослинних організмів має бути спрямоване на усунення впливу зовнішнього освітлення на результати вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Тарновський М. Г. Оптичні методи аналізу фізіологічного стану рослин для задач сільського господарства та екологічного моніторингу / М. Г. Тарновський, Я. Ю. Янковський // Оптико-електрон. інформ.-енерг. технології. - 2012. - № 1. - С. 127-130. - Бібліогр.: 16 назв. - укр.

[2] Історія хлорофілу – дослідження та застосування в науці та техніці. Режим доступа: https://mindscope.biz.ua/istoriya-hlorofilu-doslidzhennya-ta-zastosuvannya-v-nauczi-ta-tehniczi/

[3] Спектроскопія: види та характеристика Режим доступа:

https://www.meteorologiaenred.com/uk/%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%B8-%D1%82%D0%B0-%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%96%D1%97.html

[4] Mokryy, V.I. & Mudrak, Oleksandr & Petrushka, I. & Grechanyk, R. & Arustamyan, E. & Mudrak, G. FLUORESCENCE TESTING OF THE EUROPEAN BEECH IN THE BOTANICAL SITE OF NATURE OF LVIV. Ukrainian Journal of Natural Sciences. 7-23. 10.35433/naturaljournal.3.2023.7-23.

[5] Chlorophyll Fluorescence. Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/chlorophyll-fluorescence

Наук. керівник – д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.

УДК 621.317.7

Д.І. Власюк, студент гр. ПК-01
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОБІЛЬНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ТОВЩИНОМІР

Анотація. Стаття аналізує сучасні тенденції у розвитку ультразвукових товщиномірів, зокрема їх інтеграцію з мобільними пристроями та використання бездротових технологій для передачі даних. Обговорюються переваги таких систем, включаючи підвищену мобільність, оперативність обробки даних та можливість використання у складних умовах без потреби в прямому фізичному з'єднанні між компонентами системи. Також розглядаються технічні аспекти роботи цифрових і аналогових частин ультразвукового товщиноміра, які забезпечують точність та ефективність вимірювань.

Ключові слова: ультразвукові товщиноміри, бездротові технології, мобільні пристрої, цифрова обробка даних, автоматизація вимірювань, промислові технології

ВСТУП

На сьогодні промисловий сектор швидко розвивається, постійно породжуючи нові виклики та завдання. Розв'язання цих проблем вимагає застосування передових технологій. Із кожним днем зростає потреба у використанні високоефективних за економічними та технологічними параметрами пристроїв. Відтак, все більше людей переходять на сучасні технології, покидаючи застаріле обладнання. [1, 2].

Прилади, створені за допомогою сучасних технологій, забезпечують значні переваги порівняно зі старішими моделями. Серед основних переваг можна виділити легкість у використанні, зручність у перегляді інформації, простоту конструкції, компактні розміри та малу вагу, зручність обробки даних, можливості для автоматизації, а також стійкість до механічних пошкоджень.

Одним із найбільш розповсюджених методів вимірювання товщини об’єкта є ультразвуковий. Даний метод широко застосовується через свою простоту та швидкість. Також у такий спосіб досягається висока точність вимірювання за відносно малу вартість. [3]

НОВІТНЄ НАПРАВЛЕННЯ В ПРОЕКТУВАННІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ТОВЩИНОМІРІВ

Новітній напрямок у проектуванні ультразвукових товщиномірів акцентується на використанні серійних мобільних пристроїв та бездротових технологій для передачі даних, що значно підвищує гнучкість і оперативність під час вимірювання товщини. За допомогою Bluetooth та GSM-технологій, сенсори можуть відправляти зібрану інформацію на смартфони, які виконують обробку даних "на місці" або передають їх на далекі відстані до центрів обробки даних для подальшого аналізу. Це дозволяє використовувати товщиноміри в найскладніших умовах без потреби в прямому фізичному з'єднанні між компонентами системи.

Інноваційний підхід полягає у тому, що такі системи забезпечують високу надійність тестувань та дозволяють операторам швидко приймати рішення завдяки миттєвій обробці даних. Наприклад, сучасні ультразвукові дефектоскопи можуть автоматично формувати звіти та картографувати результати контролю, що є особливо корисним у промислових застосуваннях, де потрібна висока точність та ефективність.

Додатково, ця технологія дозволяє інтегрувати різні типи датчиків і підсилювачів, які можуть бути програмовані та калібровані через мобільні додатки, забезпечуючи високу адаптивність до різних умов вимірювання. Пристрої можуть використовувати ультразвукові датчики з різними частотами резонансу, що розширює їх застосування від маленьких до великих глибин аналізу.

Експериментальні результати показують, що такі розробки не тільки зрівнюються, а і перевершують технічні параметри традиційних дефектоскопів, зокрема з точки зору чутливості та точності вимірювань у ближніх зонах контролю. Зменшення відносних помилок у вимірюваннях досягається за рахунок вдосконалених методів цифрової обробки даних, доступних у сучасних мобільних та комп'ютерних системах. [4]

ПРИНЦИП РОБОТИ МОБІЛЬНОГО ТОВЩИНОМІРА

Такий товщиномір складається з двох основних частин: аналогової та цифрової.(рис. 1.)

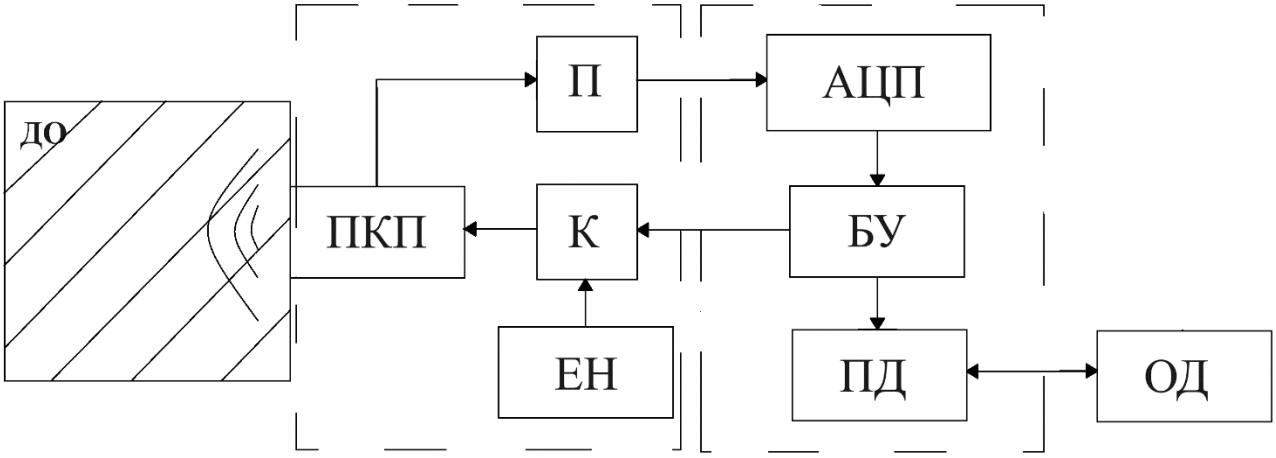


Рисунок 1. Структурна схема ультразвукового товщиноміра
ДО – досліджуваний об’єкт, ЕН - еталонна напруга, К - ключ, ПКП - п'єзоелектричний перетворювач, П - підсилювач, АЦП - аналого-цифровий перетворювач, БУ – блок управління, ПД – передавач даних, ОД – приймач даних.

Аналогова частина включає п’єзоелектричний перетворювач (ПКП), який живиться від еталонної напруги (ЕН) через ключ (К). Частота генерації імпульсів контролюється короткими імпульсами, які подаються з блоку управління (БУ). Генерований імпульс поширюється у досліджуваному об’єкті (ДО), відбивається від донної поверхні і повертається до перетворювача як ехо-імпульс.

Цифрова частина відповідає за перетворення аналогового сигналу в цифровий формат за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП), а потім передає дані до блоку обробки інформації (ОД) через блок передачі даних(ПД). Це дозволяє збільшити автоматизацію системи та відмовитися від фізичного з'єднання між різними частинами приладу.

Товщиномір використовує сучасні технології, такі як Bluetooth для короткодистанційної передачі даних і GSM для довгодистанційної передачі, що дозволяє забезпечити гнучкість і мобільність у використанні. Це значно покращує ефективність у вимірюванні товщин, дозволяючи швидко обробляти

та аналізувати дані на місці або надсилати їх на великі відстані для подальшого аналізу в умовах робочого процесу. [5]

ВИСНОВОК

Дослідження підкреслює значний потенціал використання мобільних пристроїв та бездротових технологій у проектуванні ультразвукових товщиномірів. Впровадження цих новітніх технологій не тільки забезпечує високу точність та ефективність вимірювань, але й значно розширює можливості їх застосування в промисловості за рахунок покращення мобільності, гнучкості та автоматизації процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Kren A.P., Delendyk M.N., Ivanov V.P. Industry 4.0: Transformations in Non-Destructive Testing. Science and innovation. 2019. No. 2 (192). P. 28–32.
[2] Petryk, V. Ultrasound Flaw Detector Based on a Mobile Phone / Valentyn Petryk, Anatolii Protasov // CUTTING-EDGE SCIENCE – 2019 : materials of the International XV scientific and practical conference, Sheffield, April 30–May 7, 2019. – Sheffield : «Science and aducation» LTD, 2019. – Volume 14. – P. 64–66.
[3] Галаган Р.М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
[4] Петрик В.Ф. Використання серійних мобільних пристроїв при проектуванні портативних дефектоскопів / Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Серый К.Н., Повшенко А.А. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2019. - Том 30 (69), Ч. 2, № 6. - С.12-16.
[5] Povshenko, O. Portable Ultrasound Flaw Detector / O. Povshenko, V. Petryk, A. Protasov // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі : матеріали 2-гої науково-технічної конференції, Польща, м. Люблін, 15-19 жовтня 2018 року. - Люблін, Польша, 2018.- С. 34-36.

Науковий керівник - к.т.н., доц. Петрик В.Ф.

УДК 621.317

В.Д. Дащенко, П.С. Волковий, аспіранти гр. ПІ-21ф
КПІ ім. Ігоря Сікорського

БЕЗКОНТАКТНЕ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ДЕФЕКТУ В ТОВЩИНІ ДВОШАРОВОГО МАТЕРІАЛУ

Анотація. Одними з основних параметрів, за якими визначають фізико-механічні характеристики двошарових матеріалів, є їх щільність та товщина. Ці параметри на сьогоднішній день для різних двошарових матеріалів вимірюються контактними та руйнівними методами. Зрозуміло, що такі методи не будуть дозволяти оперативно вимірювати значення технологічних параметрів щільності та товщини, призводять до появи браку та зниження якості готових виробів. При наявності прихованих дефектів в двошарових матеріалах можуть виникати значні похибки вимірювання товщини та щільності. Такі дефекти можуть бути пов'язані з розшаруванням матеріалу (наявністю повітряного прошарку між основними шарами матеріалу). Для того, щоб підвищити якість готової продукції та вимірювати щільність та товщину двошарових матеріалів з більшою точністю, необхідно спочатку забезпечити детектування та вимірювання розмірів самого повітряного прошарку в матеріалі при його наявності.
Ключові слова: розмір дефекту, двошаровий матеріал, товщина, амплітуда ультразвукової хвилі.

ВСТУП

Відомі безконтактні методи [1], які можна використовувати для детектування та вимірювання товщини повітряного прошарку в двошаровому матеріалі при використанні радіоактивного випромінювання. Однак, такі засоби потребують калібрування при зниженні інтенсивності випромінювання в системі, на результат вимірювань впливають механічні параметри матеріалів, що не дозволяє отримати високу точність вимірювання. Також для таких систем необхідно забезпечувати витрати, що пов'язані з високою вартістю експлуатації та утилізації, а також необхідністю забезпечення захисту персоналу від шкідливого випромінювання на здоров'я людини. Ультразвукові методи [2] мають низку переваг порівняно з іншими методами: відносна простота випромінювання та прийому ультразвукових хвиль в системі; достатньо висока точність вимірювання у порівнянні з аналогами; невисока вартість обслуговування. Проведений аналіз показав, що перспективним методом детектування та вимірювання товщини дефектів в двошарових матеріалах є саме безконтактний ультразвуковий метод. При цьому матеріал опромінюється ультразвуковими хвилями, а значення товщини прошарку дефекту визначається різницею зміни значення відношення амплітуд ультразвукової хвилі, що пройшла крізь двошаровий матеріал, і хвилі, яка тільки падає на нього [3] у порівнянні з еталонним зразком.

БЕЗКОНТАКТНЕ ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ДЕФЕКТІВ РОЗШАРУВАННЯ МАТЕРІАЛУ

У випадку, коли ми розглядаємо дефект у вигляді повітряного прошарку між шарами матеріалу, тоді можна прийняти та записати наступні параметри середовищ, які будуть впливати на амплітуду ультразвукових хвиль, що розповсюджуватимуться в них: h_1 – товщина матеріалу до повітряного прошарку; h_2 – товщина повітряного прошарку в матеріалі; h_3 – товщина шару матеріалу, який знаходиться вище прошарку повітря; Z_2 – акустичний опір матеріалу до повітряного прошарку; Z_3 – акустичний опір повітряного

прошарку; Z_4 – акустичний опір шару матеріалу, який знаходиться вище прошарку повітря; K_1 – хвильове число повітря; K_2 – хвильове число для шару матеріалу; θ_1 – кут падіння ультразвукової хвилі на двошаровий матеріал; θ_2 – кут проходження ультразвукової хвилі крізь матеріал; f– частота ультразвукових хвиль; ρ_2 – щільність середовища контрольованого матеріалу.

Розглянемо випадок, коли акустичні опори $Z_1 = Z_3,\ Z_2 = Z_4,\ h_1 = h_3$, використаємо вирази і подамо залежності різниці зміни амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль, що проходять матеріал, та хвиль, які тільки падають на нього, у порівнянні з еталонним двошаровим матеріалом без дефекту так:

$$\Delta|W| \approx \sqrt{\frac{\left(D_\theta(D_\theta - C_\theta) + F_\theta^{\,2}\right)^2 + (C_\theta \cdot F_\theta)^2}{\left(D_\theta^{\,2} + F_\theta^{\,2}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\pi f \rho_2}{Z_1}\ \frac{2h_1}{\cos\theta_2}\right)^2}}, \qquad (1)$$

де

$$C_\theta = 2\left(\frac{Z_1}{\cos\theta_1}\cdot\left(\frac{Z_2}{\cos\theta_2}\right)^3 - \left(\frac{Z_1}{\cos\theta_1}\right)^3\frac{Z_2}{\cos\theta_2}\right)\ \mathrm{tg}(K_2h_1) + \left(\left(\frac{Z_1}{\cos\theta_1}\right)^4 - \left(\frac{Z_2}{\cos\theta_2}\right)^4\right)\ \mathrm{tg}(K_1h_2)\cdot\left(\mathrm{tg}(K_2h_1)\right)^2;$$

$$D_\theta = 2\left(\frac{Z_1}{\cos\theta_1}\cdot\left(\frac{Z_2}{\cos\theta_2}\right)^3 + \left(\frac{Z_1}{\cos\theta_1}\right)^3\frac{Z_2}{\cos\theta_2}\right)\ \mathrm{tg}(K_2h_1) + \left(2\left(\frac{Z_1}{\cos\theta_1}\right)^2\left(\frac{Z_2}{\cos\theta_2}\right)^2 - \left(\left(\frac{Z_1}{\cos\theta_1}\right)^4 + \left(\frac{Z_2}{\cos\theta_2}\right)^4\right)\cdot\left(\mathrm{tg}(K_2h_1)\right)^2\right)\ \mathrm{tg}(K_1h_2);$$

$$F_\theta = 2\left(\left(\frac{Z_1}{\cos\theta_1}\right)^2\left(\frac{Z_2}{\cos\theta_2}\right)^2\left(1 - \left(\mathrm{tg}(K_2h_1)\right)^2\right) - \left(\frac{Z_1}{\cos\theta_1}\cdot\left(\frac{Z_2}{\cos\theta_2}\right)^3 + \left(\frac{Z_1}{\cos\theta_1}\right)^3\frac{Z_2}{\cos\theta_2}\right)\cdot\mathrm{tg}(K_1h_2)\cdot\mathrm{tg}(K_2h_1)\right).$$

Для кута $\theta_1 = 0$ і для хвиль з частотою $f = 75$ кГц, можна представити залежності (рис.1) величини різниці $\Delta|W|$ для хвиль, що пройшли двошаровий матеріал, від товщини прошарку дефекту h_2 при $h_1 = h_3$ в діапазоні до 1мм. За допомогою побудованої поверхні можна проаналізувати зростання піків і визначити, при яких товщинах складових шарів можна детектувати наявність прошарку повітря між ними. Після детектування дефекту можна із регулюванням частоти f зондуючих хвиль вимірювати і товщину самого

прошарку повітря між шарами контрольованого матеріалу.

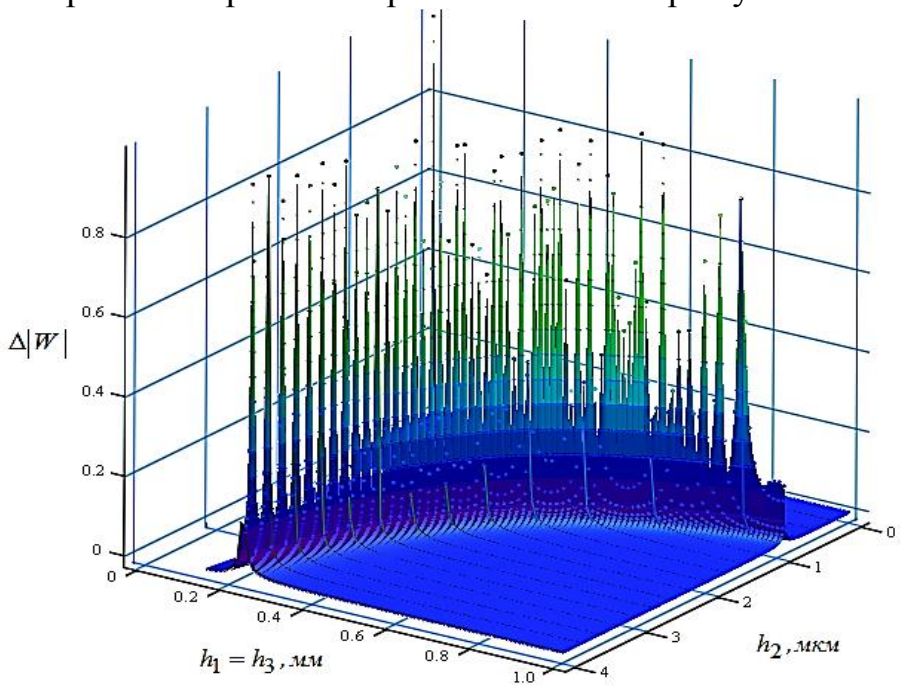


Рисунок 1. Залежність різниці Δ|W| амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль від товщини прошарку повітря h_2, мкм та від товщин складових шарів матеріалу, які змінюються однаково за величиною $h_1 = h_3$, *мм*
(показаний діапазон для $h_1 = h_3$ від 0,1 мм до 1,0 мм)

Проведені дослідження дозволять отримувати оперативно вимірювальну інформацію для реалізації моніторингу технологічних параметрів двошарових матеріалів та створювати нові мікроконтролерні системи для їх контролю.

ВИСНОВКИ

Отримані залежності різниці амплітудних співвідношень ультразвукових хвиль, що взаємодіють з контрольованим матеріалом, та амплітудних співвідношень хвиль, які взаємодіють з еталонним двошаровим матеріалом, дадуть можливість у майбутньому розроблювати сучасні безконтактні системи вимірювання та контролю технологічних параметрів товщини та щільності двошарових матеріалів із врахуванням дефектів в їх структурі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Gloy Y.-S., Gries T., Spies G. (2013). Non Destructive Testing of Fabric Weight in the Weaving Process. 13th International Symposium on Nondestructive Characterization of Materials (NDCM-XIII), 20-24 May 2013, Le Mans, France. NDT.net Issue: 2014-04.

[2] Беркута В.Г. Ультразвукова дефектоскопія: навч. посіб. / В.Г.Беркута, С.М.Валевич. – Кіровоград: ТОВ «Імекс-ЛТД», 2006. – 177 с.

[3] Zdorenko V. Research on the Interaction of Ultrasonic Waves with Various Textile Materials in the Process of Non-contact Control / Zdorenko V., Barylko S., Zashchepkina N., Zaporozhets A., Lisovets S., Kiva I. // Studies in Systems, Decision and Control. 460. 2023. – P. 83 – 124.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Барилко С.В.

УДК 621.3.087

Д.Є. Куліков, студент гр. ПІ-31мп, к.т.н., доц. Богомазов С.А.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ТЕХНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Анотація. В статті розглянуто використання технологій JavaFX для візуалізації даних в системах дистанційного технічного моніторингу та використання TimescaleDB для збереження даних. Показано процес підключення до хмарного брокера HiveMQ, зчитування даних та їх обробку. Описано створення об'єкту Sensor для збереження даних з датчиків та метод обробки отриманих даних. Проаналізовано можливість збереження даних у базі даних за допомогою розширення TimescaleDB, створення гіпертаблиць і переваги використання даної технології. Інтеграція хмарного брокера HiveMQ та TimescaleDB надає потужний інструмент для моніторингу обладнання в реальному часі, розширеної аналітики та прогнозного обслуговування в інтелектуальному виробництві.

Ключові слова: JavaFX, візуалізація даних, HiveMQ, протокол MQTT, обробка даних, TimescaleDB, гіпертаблиці, PostgreSQL, тайм-серії, база даних.

ВСТУП

Виробничі підприємства все частіше впроваджують розумні виробничі технології для оптимізації своєї діяльності. Відповідно до нещодавнього звіту Rockwell Automation, впровадження технологій інтелектуального виробництва зросло на 50% за 2021-2022 роки. Датчики в системах технічного моніторингу на базі технологій Internet of Things (IoT) генерують дані в реальному часі, надаючи виробникам актуальну інформацію про виробничі процеси, продуктивність обладнання і контроль якості. Це забезпечує оперативне прийняття рішень, оптимізацію розподілу ресурсів і прогнозне обслуговування. Моніторинг ключових показників ефективності в режимі реального часу підвищує ефективність роботи та якість продукції, мінімізує час простою.

Використання хмарного брокера HiveMQ для обміну за протоколом MQTT дозволяє збирати дані в режимі реального часу з датчиків IoT, вбудованих у виробниче обладнання, наприклад температуру, тиск і стан обладнання. Він безпечно та надійно передає ці дані до баз даних через відповідне розширення (рис. 1).

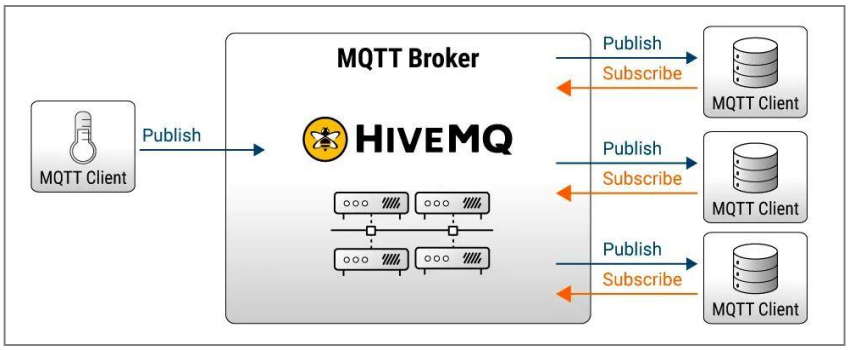


Рисунок 1. Структура системи технічного моніторингу

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На базі хмарного MQTT-брокера HiveMQ розроблена демонстраційна система моніторингу кліматичних параметрів [1]. Для збору даних про температуру та вологість використано датчик DHT22 [2] та одноплатний комп’ютер Raspberry Pi [3]. Графічний інтерфейс користувача на основі технології JavaFX та сервер бази даних реалізовані як клієнти для протоколу

MQTT. JavaFX - це набір графічних і мультимедійних пакетів, які дозволяють розробникам створювати клієнтські додатки, які узгоджено працюють на різних платформах. Для відображення даних створено теми для хмарного брокера HiveMQ (рис. 2).

Рисунок 2. Створення тем для хмарного брокера HiveMQ

Дані про температуру та вологість публікуються у відповідній темі. Результати публікації наведено на рис. 3.

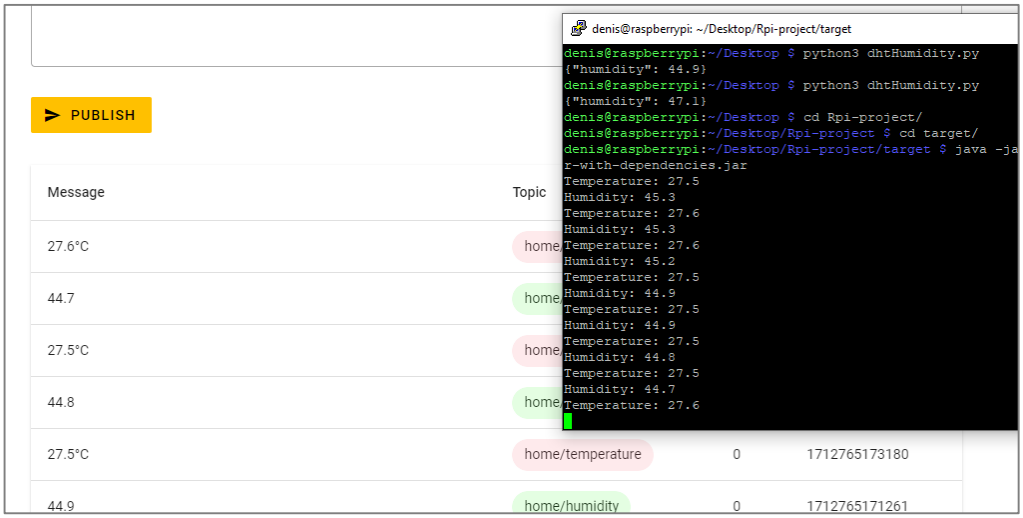


Рисунок 3. Публікація даних

Для реалізації графічного інтерфейсу користувача створено клієнтів, які підписані на відповідну тему. Для збереження даних з датчиків використано об’єкт класу Sensor. Обробка повідомлення підписником протоколу MQTT реалізована в методі handleTemperatureData (рис. 4).

```
private void handleTemperatureData(Mqtt5Publish message) {
        var sensorData = new String(message.getPayloadAsBytes());
        logger.info("Sensor data: {}", sensorData);

        try {
            // Remove the "°C" from the sensor data
            sensorData = sensorData.replace("°C", "");

            // Parse the value as a double
            double temperature = Double.parseDouble(sensorData);

            // Create a new Sensor instance
            var sensor = new Sensor();
            sensor.setTemperature(temperature);

            // Update the dashboard with the sensor data
            gaucheTemperature.setValue(sensor.getTemperature());
        } catch (NumberFormatException ex) {
            logger.error("Could not parse the temperature data: {}", ex.getMessage());
        }
    }
```

Рисунок 4. Обробка повідомлення MQTT

Загальний вигляд графічного інтерфейсу користувача, реалізованого на

основі JavaFX, наведено на рис.5.

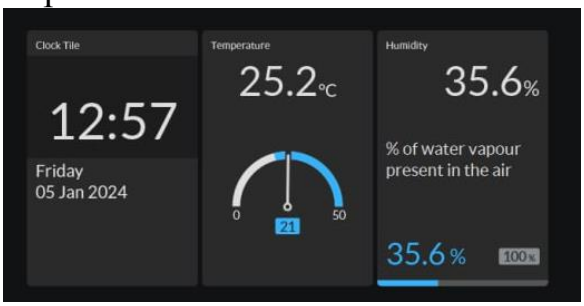


Рисунок 5. Графічний інтерфейс користувача

Для збереження даних технічного моніторингу використано базу даних TimescaleDB. Це розширення PostgreSQL для роботи з часовими рядами. Головна особливість TimescaleDB – це технологія гіпертаблиць. Створення гіпертаблиці виглядає, як створення звичайної таблиці, за якою йде виклик create_hypertable (рис.6). Фізично таблиця буде перетворена в N таблиць, у кожній з яких зберігаються дані за заданий інтервал часу. При цьому час вставки нових значень не збільшується із збільшенням кількості даних.

```
CREATE TABLE conditions(
   ts DATE NOT NULL,
   temperature INT NOT NULL,
   humidity INT NOT NULL);

SELECT create_hypertable(
   'conditions', 'ts',
   chunk_time_interval => INTERVAL '1 day'
);
```

Рисунок 6. Створення гіпертаблиці в TimescaleDB

ВИСНОВКИ

Використання JavaFX дозволяє створити платформонезалежні динамічні та інтерактивні інтерфейси для систем дистанційного технічного моніторингу. Інтеграція хмарного брокера HiveMQ та TimescaleDB надає потужний інструмент для моніторингу обладнання в реальному часі, розширеної аналітики та прогнозного обслуговування в інтелектуальному виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Д. Є. Куліков, С. А. Богомазов «Інтернет-орієнтована система збору даних на основі програмних технологій Java», XIX Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», Київ, 2023, с. 251-254.

[2] Adafruit-DHT 1.4.0. [Online]. Available: https://pypi.org/project/Adafruit-DHT. Accessed on: June 1, 2023.

[3] Raspberry Pi Requirements for Development Host [Online]. Available: https://doc.qt.io/QtForDeviceCreation/qtee-preparinghardware-rasberrypi.ht. Accessed on: November 27, 2023.

УДК 620.179.7

А.О. Малохатько, студентка гр. ПН-01, к.т.н., доц. Самарцев Ю. М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОБІЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ

Анотація. У досліджені розглянуто процес поширення ультразвукових хвиль у матеріальному середовищі та їх використання для дефектоскопії. Описано принцип генерації та вимірювання ультразвукових сигналів, а також використання смартфонів для цієї цілі. Зазначено переваги цього методу, зокрема, зниження витрат та доступність. Запропоновано розвиток спеціалізованих додатків для смартфонів та використання адаптерів для підключення датчиків.

Ключові слова: ультразвукова дефектоскопія, смартфони, генерація ультразвукових хвиль, вимірювання ультразвукових сигналів, застосування в промисловості..

ВСТУП

У сучасному світі вимагається максимальна точність та контроль у всіх сферах діяльності. Це не лише підвищує ефективність, а й забезпечує економічну вигідність та конкурентоспроможність. Особливо актуальною стає необхідність постійного покращення чутливості, швидкості та точності приладів, які виявляють дефекти. Це має велике значення в таких ключових галузях, як металургія, авіаційна промисловість, нафтова та газова промисловість, будівництво, а також у виробництві військової техніки.

Забезпечення високої якості та надійності виробів у цих галузях має вирішальне значення для безпеки людей і навколишнього середовища, а також для успішної експлуатації у вимогливих умовах. Тому постійне вдосконалення технологій і засобів контролю є невід'ємною складовою сучасного промислового виробництва.

МЕТА

Розглянути поширення ультразвукових хвиль, їх генерацію та вимірювання відбитих сигналів, а також принципи ультразвукової дефектоскопії та переваги використання смартфонів у цьому процесі. Відзначено можливість зниження витрат за рахунок використання смартфонів та важливість спеціалізованих додатків та адаптерів.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ультразвукова хвиля - це процес поширення пружних коливань ультразвукової частоти в матеріальному середовищі. Кожна частка матеріалу, яка піддається хвильовому русі, коливається навколо свого положення рівноваги, передаючи свою енергію сусіднім часткам. Основна відмінність між звуковими та ультразвуковими хвилями полягає у частоті коливань: звукові хвилі мають частоту від 16 до 20000 Гц, тоді як ультразвукові - від 20000 Гц до 109 Гц.

Енергія, яку несе ультразвукова хвиля у напрямку свого руху, характеризується інтенсивністю ультразвуку. Це кількість енергії, яка переноситься хвилею за одиницю часу через одиницю площі, перпендикулярної до напрямку поширення. Інтенсивність ультразвуку зменшується з відстанню

поширення хвилі, а її шлях можна оцінити за коефіцієнтом згасання, який у твердих тілах складається з коефіцієнтів поглинання та розсіювання. (Рис. 1)

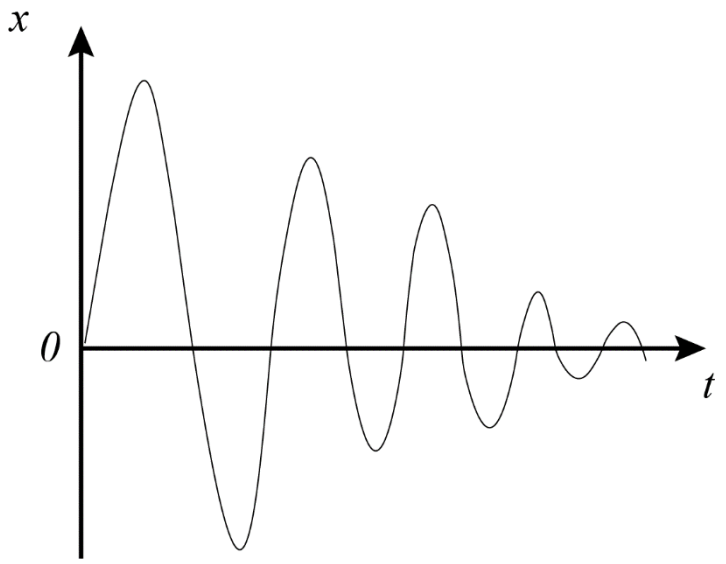


Рисунок 1. Графік зменшення інтенсивності ультразвуку

Для генерації ультразвукових коливань використовується п'єзоелектричний ефект, який виникає при розтягуванні та стиску певних кристалів, що призводить до виникнення електричного заряду на їх поверхні. Електричні коливання від генератора високої частоти перетворюються за допомогою п'єзокристалів на механічні коливання з частотою до 500 та 1000 МГц.

Ультразвукові хвилі використовуються для збудження та прийому відбитих від дефектів у матеріалі. Це досягається за допомогою ультразвукових п'єзоелектричних перетворювачів, які введені у спеціальні пристрої для запобігання механічних пошкоджень та зношування.

Використовуючи ультразвукові п'єзоелектричні перетворювачі (ПЕП), можна передавати короткі ультразвукові сигнали в контрольований об'єкт. Після того, як сигнал відбивається від відбиваючої поверхні об'єкта і повертається до приймача, можна виміряти час, який займає звуковий сигнал на цей процес. Якщо швидкість звуку в матеріалі відома, тоді можна визначити відстань до відбиваючої поверхні за допомогою простих обчислень.

Вимірювання часу розпочинається з моменту подачі електричного імпульсу передачі, який також називається імпульсом збудження. Це короткий електричний розряд, що викликає звуковий імпульс в п'єзоелементі перетворювача. Звуковий імпульс потім проникає через матеріал і, відбиваючись від несуцільностей або протилежної поверхні матеріалу, повертається назад до перетворювача. Коли приймається відбитий сигнал, коливання перетворюються на електричний імпульс, що припиняє вимірювання часу.

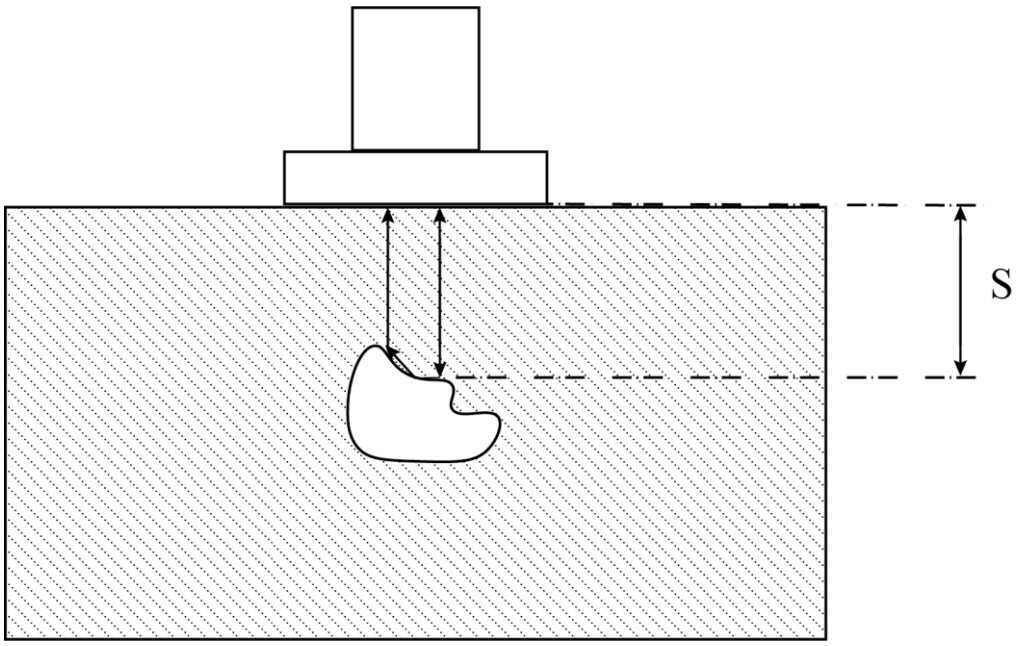


Рисунок 1. Принцип вимірювання шляху імпульсу

Знання часу, який займає цей процес, та швидкості звуку в матеріалі, дозволяє розрахувати відстань до відбиваючої поверхні за допомогою простої формули (1), яка враховує час прямого і відбитого сигналів та швидкість звуку в матеріалі. Такий підхід дозволяє точно визначити положення несуцільності в об'єкті контролю.

$$S = \frac{ct}{2}. \quad (1)$$

Дефектоскопія є важливим етапом у багатьох галузях промисловості, де необхідно забезпечити високу якість та надійність матеріалів. Однак традиційні дефектоскопи, які використовуються для виявлення дефектів у матеріалах, можуть бути дороговартісними, що ускладнює їх доступність для багатьох компаній та фахівців. Тому зменшення вартості дефектоскопів стає пріоритетною задачею для багатьох індустрій.

Один із способів зниження вартості дефектоскопів - використання вже існуючих технологій та пристроїв, таких як смартфони. У сучасному світі мобільні телефони є не просто популярними, але й незамінними у повсякденному житті. Їхня функціональність, портативність та легкість у використанні роблять їх ідеальними для використання у різних сферах, включаючи контроль якості матеріалів.

Використання смартфонів для дефектоскопії має кілька переваг. По-перше, це дозволяє значно знизити витрати на спеціалізоване обладнання, оскільки вже наявні пристрої можна використовувати для проведення дефектоскопії. По-друге, смартфони забезпечують зручний та доступний інтерфейс для керування та візуалізації результатів дефектоскопії. Це дозволяє спростити процес виявлення та аналізу дефектів у матеріалах.

Крім того, використання смартфонів дозволяє забезпечити ефективність та універсальність у різних умовах використання. Смартфони мають вбудований акумулятор та можливість підключення до мережі мобільного зв'язку, що

дозволяє використовувати їх у будь-яких місцях та умовах, навіть без доступу до стаціонарної електромережі.

Запровадження смартфонів у процес дефектоскопії може бути здійснене за допомогою спеціального програмного забезпечення та адаптерів, які дозволяють підключати різноманітні датчики і пристрої.

Розроблення спеціалізованих додатків для смартфонів, які дозволяють проводити дефектоскопію, може бути першим кроком. Ці додатки можуть включати в себе інструменти для керування датчиками, збору та аналізу даних про дефекти, а також для візуалізації результатів.

З використанням спеціальних адаптерів або пристроїв, які підключаються до роз'ємів смартфона, можна підключити різноманітні датчики і пристрої, які вимірюють різні параметри матеріалів.

ВИСНОВОК

Використання смартфонів для дефектоскопії відкриває широкі можливості у сфері контролю якості матеріалів. Зниження вартості та зручність у використанні роблять цей метод привабливим для різних галузей промисловості. Розробка спеціалізованих додатків для смартфонів, які включають інструменти для керування датчиками та аналізу даних про дефекти, спрощує процес виявлення та оцінки дефектів. Використання адаптерів, що дозволяють підключати різноманітні датчики і пристрої до смартфонів, розширює можливості дефектоскопії, забезпечуючи більш глибокий та точний аналіз матеріалів. Такий підхід стає кроком у майбутнє, де контроль якості стає більш доступним та ефективним завдяки використанню потужних технологій мобільних пристроїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп’ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики» спеціальності «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / Р. М. Галаган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 5,12 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

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

[3] Протасов, А.Г. Вихрострумовий дефектоскоп з телеметричним каналом зв'язку / А. Г. Протасов, К. М. Сєрий, О. Л. Дугін, В. Ф. Петрик // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка. – 2014. – № 19 (1062). – С. 132–139.

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

УДК 621.307.13

Ю.В. Носова, студентка гр. ПІ-32мп, , к.т.н., доц. Божко К.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ В КОРОННОМУ РОЗРЯДІ

Анотація. В даній роботі наведені результати досліджень з розробки засобу контролю поверхневих дефектів в металах та напівпровідниках на основі генерації коронного розряду та вдосконаленні методу візуалізації цих дефектів. Дослідження коронного розряду є актуальними наразі, оскільки технології синтезу нано-матеріалів значною мірою побудовані саме на використанні коронного розряду (корони). Автори отримали результати на основі використання різновиду корони – бар'єрного розряду, коли високовольтний електрод відділяє від об'єкту візуалізації діелектрична (як правило, прозора) пластина. Метою досліджень було отримання покращених характеристик газорозрядного пристрою, а саме:

- зменшення амплітуди напруги з 10-20 кВ до 1500-1800 В;
- покращення зображення розряду у фронтальній площині завдяки використанню тонкоплівкового електроду на склі на основі оксидів індію та олова (ІТО);
- надійне запобігання генерації іскрових розрядів.

Пристрій і метод були апробовані при контролі поверхневих дефектів кремнієвих сонячних елементів. При цьому приховані дефекти були активовані зовнішнім темновим струмом. Наступні дослідження можуть бути присвячені візуалізації в коронному розряді структур наноплівок металів та напівпровідників.

Ключові слова: коронний розряд, газорозрядний пристрій.

ВСТУП

Коронний розряд (корона) виникає за умови великої напруженості електричного поля (більше 10 кВ/см). Такі умови часто забезпечує поверхня матеріалу із мікровиступами типу вістрь. Роль неднорідностей рельєфу також можуть виконувати мікродефекти поверхневої структури матеріалу. Для полегшення процесу збудження корони розрядний проміжок виконують тонким і тоді розряд виникає при напрузі 2-5 кВ. Зменшення напруги коронного розряду є важливою задачею, оскільки це створює значно безпечніші умови для дослідника, а також дозволяє ефективно запобігати виникненю іскрових розрядів.

ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасний стан розвитку нанотехнологій доводить актуальність використання коронного розряду при синтезі таких матеріалів, як вуглецеві нанотрубки та наноплівки оксиду цинку. Для подальшого розвитку цих технологій зокрема необхідно вдосконалювати газорозрядний пристрій коронного розряду.

Серед останніх робіт із синтезу карбонових нанотрубок в холодній плазмі коронного розряду слід відзначити статті [1,2]. В роботі [2] наведено результати дослідження режимів розряду, зокрема процес виникнення стримерів і переходу корони в іскровий розряд.

Синтез наноплівок оксиду цинку в коронному розряді є альтернативою до золь-гель технології. Стан сучасних досліджень в цій галузі представлені в [3,4].

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є аналіз результатів візуалізації поверхневих дефектів напівпровідникових матеріалів на прикладі кристалічних кремнієвих сонячних елементів, а також особливості конструкції і режиму збудження газорозрядного пристрою.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження коронного розряду були послідовно використані три методи:

- телевізійні вимірювання;
- осцилографічні вимірювання;
- фотоелектронні вимірювання.

Лабораторний стенд телевізійних вимірювань наведено на рисунку 1.

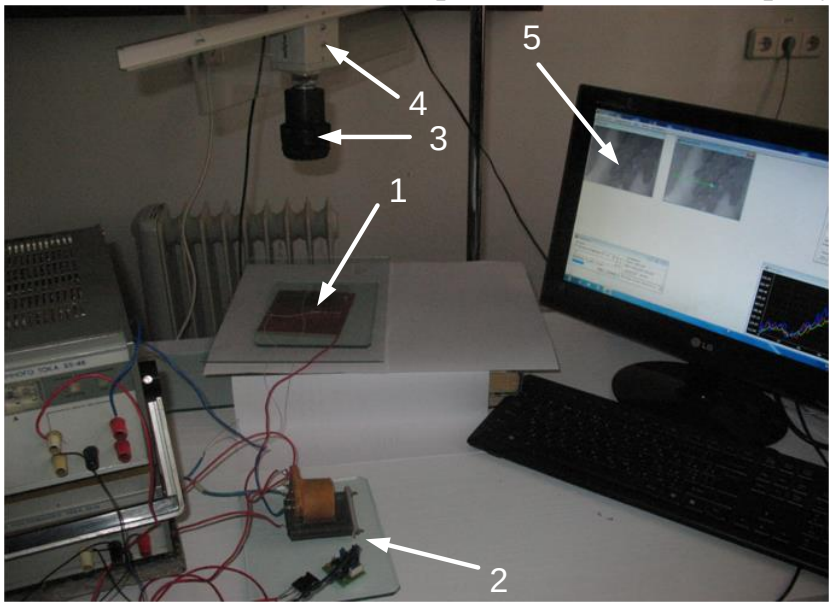


Рисунок 1. Лабораторний стенд телевізійних вимірювань: 1 – прозора касета із об’єктом дослідження; 2 – компоненти схеми імпульсного збудження коронного розряду; 3 – об’єктив; 4 – телевізійна камера; 5 – зображення об’єкту із збудженим коронним розрядом на екрані комп’ютера

На рисунку 2 наведено сам об’єкт дослідження – сонячний елемент (СЕ) із збудженим над його поверхнею короною.

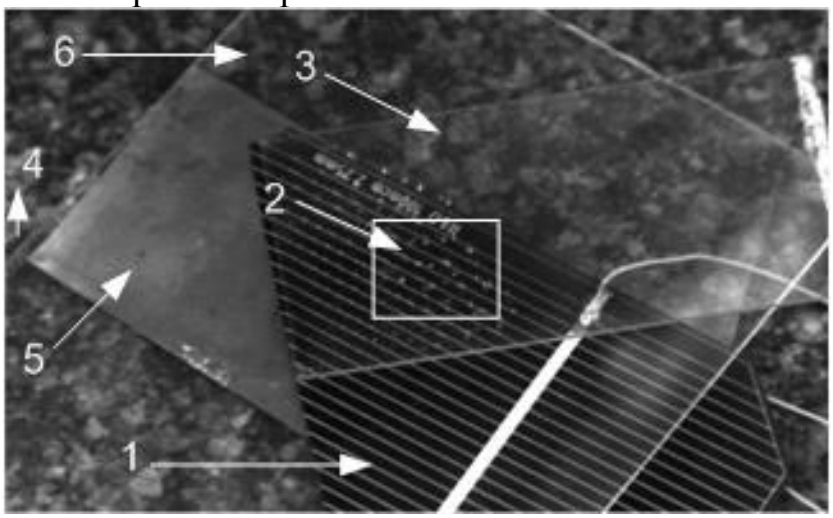


Рисунок 2.

На рисунку 3 наведено результати вимірювання яскравості зображення поверхні сонячного елементу із кристалічного кремнію, над поверхнею якого було збуджено коронний розряд. Яскравість надано у відносних одиницях. Окрім дефектів, над якими є світіння корони і яскравість яких перевищує 110 умовних одиниць, на зображенні поверхні є фон, який утворює розсіяне денник світло (світловий екран в досліді не використовували). Телевізійна інформаційна вимірювальна система (ТІВС) дозволяє збільшувати зображення у 50-100 раз, тобто вона виконує функцію телевізійного мікроскопу. Обробку зображень і побудову профілю яскравості за обраним напрямком на площині забезпечує спеціалізована комп'ютерна програма. Завдяки застосуванню ТІВС були виміряні геометричні розміри зон поверхневих дефектів кремнію, які становлять десятки мікрон.

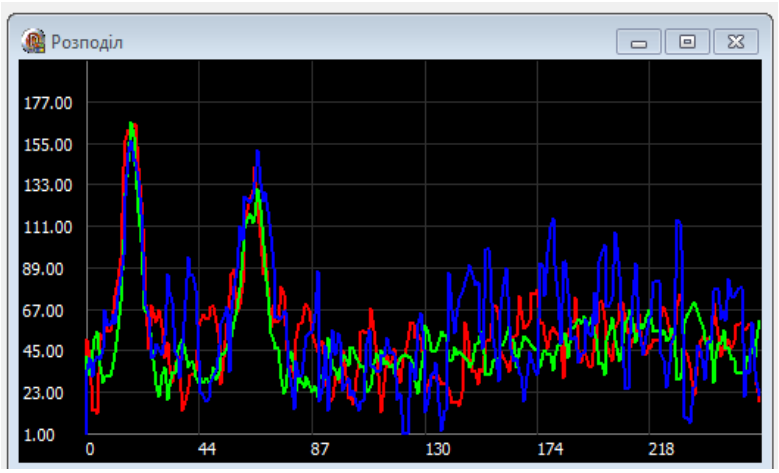


Рисунок 3. Зображення зон поверхневих дефектів кремнію в коронному козряді, які були побудовані програмою ТІВС: ліворуч присутні два осередки із коронним розрядом діаметром 50±5 мкм та 70±5 мкм

Інформацію про електричні і часові параметри імпульсів збудження корони отримують осцилографічним методом. На рисунку 4 наведені осцилограми імпульсів, які подають до газорозрядного пристрою в режимі збудження коронного розряду.

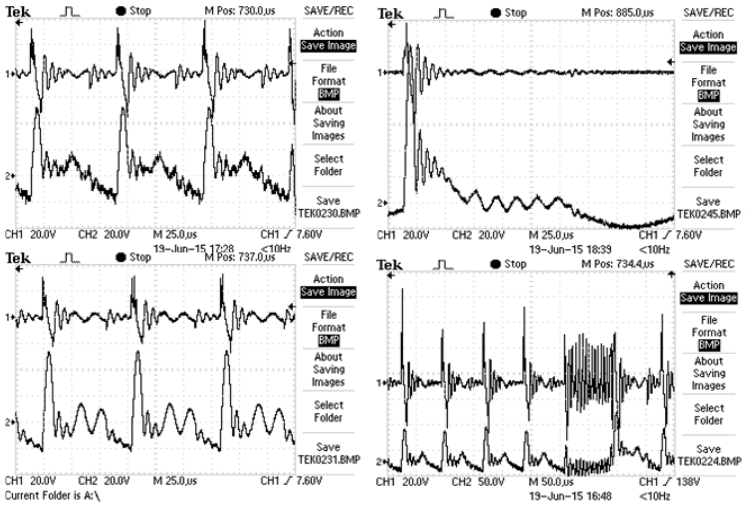


Рисунок 3. Імпульси струму (канал 1) та напруги (канал 2) для різних режимів збудження коронно розряду: амплітуда напруги дорівнює 900-1800 В; амплітуда струму дорівнює 20-40 мА; імпульси подають із частотою 12 кГц і шпаруватістю 10

Фотоелектричні вимірювання виконують за допомогою фотоелектронного помножувача (ФЕП) та осцилографу (Рисунок 4).

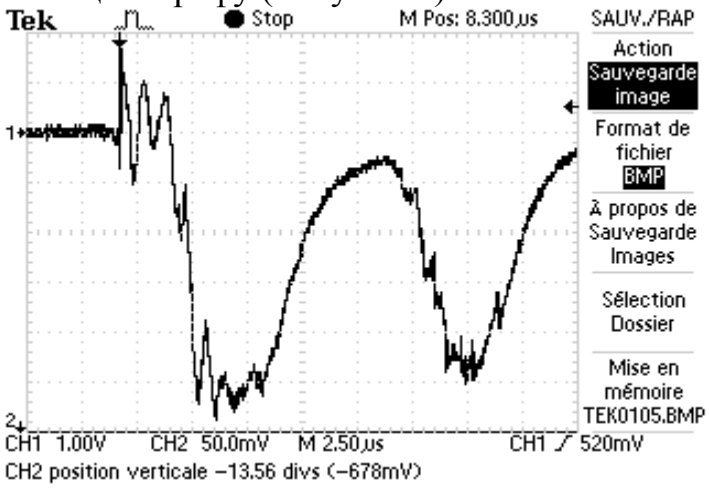


Рисунок 4. Осцилограма подвійних світлових імпульсів коронного розряду, отриманих на виході ФЕП: на осцилограмі присутня також високочастотна складова сигналу

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень доведена дієвість комплексного підходу в дослідженнях методу візуалізації поверхневих дефектів напівпровідникових матеріалів в коронному розряді, а саме поєднання телевізійних, осцилографічних і фотоелектричних вимірювань Результатом роботи є вдосконалений газорозрядний пристрій із покращеними експлуатаційними характеристиками: амплітуду напруги понижено з 3-5 кВ до 1300-1800 В, отримані повні (без вилучень в місцях розташування електроду) зображення поверхні із розрядом у фронтальній площині, знайдено ефективне схемне рішення для придушення іскрового розряду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] A.T. Sobczyk and A. Jaworek, “Carbon microstructures synthesis in low temperature plasma”, Applied Science, no. 11, pp. 1-27, 2021. DOI: 10.390/app/1135845

[2] T. Tsuji, J. Kim, H. Sakukito, Y. Shimizu, G. Chen, K. Hata, D.N. Futaba and S. Sakurai, “Role of hydrogen in catalyst activation for plasma-based synthesis of carbon nanotubes”, ASC Omega, no. 6, pp. 18763-18769, 2021. DOI: 10.102/ascomega.1c01822

[3] W. Yang, R. Zhu and X. Zong, “ZnO nanowire-based corona discharge devices operated under hundreds of volts”, Nanoscale Research Letters, pp.1-9, Dec. 2016. DOI: 10.1186/s11671-015-1217-4

[4] W. Yang, C. Hao, S. Zhang, T. Zeng, R. Zhu and B. Liu, “AC/DC electric-field-assisted growth of ZnO nanowires for gas discharge”, Materials, no. 16, pp. 1-11, 2023. DOI: 10.3390/ma16010108

Наук. керівник –к.т.н., доцент каф. ІВТ Божко К.М.

УДК 621.317

А.І. Ніколаєв, студент гр. ПІ-32мп, В.Г. Желізняк, студентка гр. ПІ-з31мп,
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЄМНІСНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ МАТЕРІАЛУ

Анотація. Для вимірювання товщини різних матеріалів на виробництві важливо застосовувати перетворювачі вхідного інформаційного сигналу, які можна просто та швидко підключати до інформаційно-вимірювальної системи, що будуть надавати інформацію про вимірювальний технологічний параметр для кількох точок виробу із необхідною точністю. Одними з таких перетворювачів є засоби, що будуть базуватися на ємнісному методі перетворення вхідної вимірювальної величини. Використання такого методу забезпечує переваги, такі як висока точність вимірювань, здатність контролювати значні площі матеріалу малої товщини та можливість отримання оцінки технологічного параметру у порівнянні з еталонним зразком. Такий підхід сприяє забезпеченню високої якості готових виробів і є ефективним у сучасних умовах виробництва різних матеріалів малої товщини.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, ємнісний перетворювач, товщина, контрольований матеріал.

ВСТУП

Сьогодні на виробництві різних матеріалів малої товщини необхідно вимірювати їх технологічні параметри із використанням перетворювачів, які дають можливість забезпечувати простоту вимірів та обробку отриманої вимірювальної інформації. Зазначені завдання стають ключовими для забезпечення високої якості готової продукції. Одним з ефективних методів отримання первинної вимірювальної інформації про товщину контрольованого матеріалу є метод із використанням "плоского" конденсатора у вигляді датчика. Його можна представити як ємність конденсатора з шаром діелектрика матеріалу, що контролюється, та з шаром повітряного зазору між пластиною електрода та поверхнею матеріалу. Такий підхід дозволяє отримувати точні вимірювання товщини контрольованого матеріалу на великих площах з використанням еталонного зразку матеріалу з відомими параметрами для налаштування інформаційно-вимірювальної системи [1, 2].

ЄМНІСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ СИСТЕМИ

Формулу для розрахунку ємності плоского конденсатора датчика, що буде застосовуватися в розробленій інформаційно-вимірювальній системі як первинний перетворювач, можна отримати з загального виразу для ємності із різними складовими шарами для багатьох середовищ так:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{\frac{h_{пов.}}{\varepsilon_{пов.}} + \frac{h_{м.}}{\varepsilon_{м.}}} = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{\frac{h_{пов.}\varepsilon_{м.} + h_{м.}\varepsilon_{пов.}}{\varepsilon_{пов.}\varepsilon_{м.}}} = \frac{\varepsilon_0 \cdot S \cdot \varepsilon_{пов.} \cdot \varepsilon_{м.}}{h_{пов.}\varepsilon_{м.} + h_{м.}\varepsilon_{пов.}}, \quad (1)$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{\frac{h\text{-}h_{м.}}{\varepsilon_{пов.}} + \frac{h_{м.}}{\varepsilon_{м.}}} = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{\frac{(h\text{-}h_{м.}) \cdot \varepsilon_{м.} + h_{м.}\varepsilon_{пов.}}{\varepsilon_{пов.}\varepsilon_{м.}}}$$

$$= \frac{\varepsilon_0 \cdot S \cdot \varepsilon_{пов.} \cdot \varepsilon_{м.}}{(h\text{-}h_{м.}) \cdot \varepsilon_{м.} + h_{м.}\varepsilon_{пов.}} = \frac{\varepsilon_0 \cdot S \cdot \varepsilon_{пов.} \cdot \varepsilon_{м.}}{h\varepsilon_{м.}\text{-}h_{м.}\varepsilon_{м.} + h_{м.}\varepsilon_{пов.}}.$$

Звідси отримуємо формулу для визначення товщини $h_м$ матеріалу:

$$h_{м.} = \frac{\frac{\varepsilon_0 \cdot S \cdot \varepsilon_{пов.} \cdot \varepsilon_{м.}}{C} - h\varepsilon_{м.}}{\varepsilon_{пов.} - \varepsilon_{м.}}. \qquad (2)$$

За допомогою виразу для ємнісного перетворювача було задано 10 різних значень товщини для трьох матеріалів, які мають різну діелектричну проникність (гетінакс $\varepsilon_{м1}$ = 6, склотекстоліт $\varepsilon_{м2}$ = 7 та полістирол $\varepsilon_{м3}$ = 2,5), та на основі отриманих результатів побудовано графіки (рис.1) залежностей ємностей від товщин різних матеріалів.

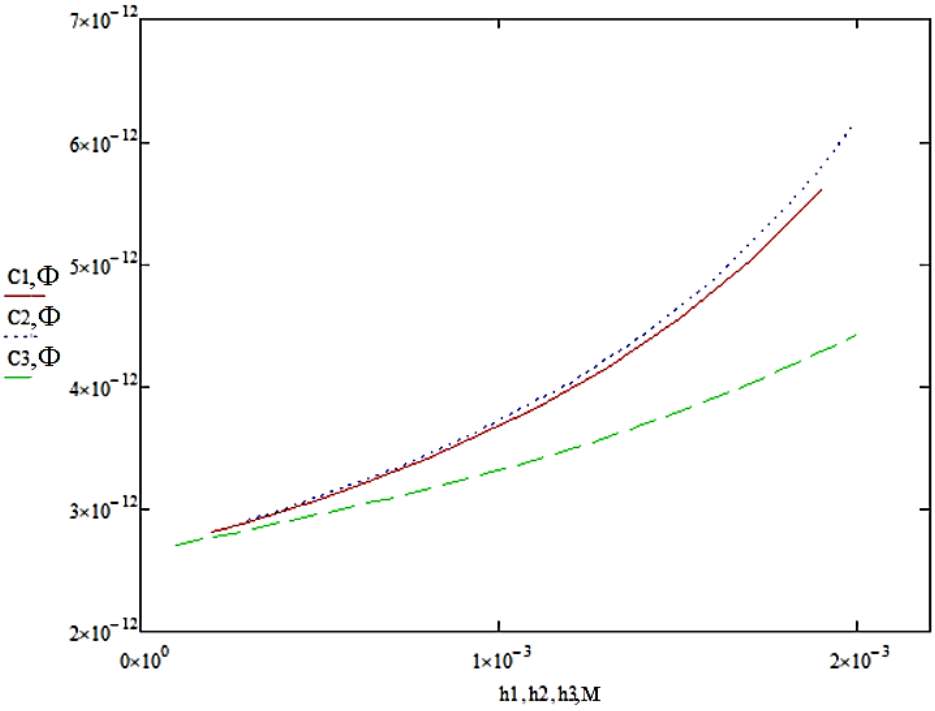


Рисунок 1. Графіки залежностей трьох ємностей плоских конденсаторів від заданих товщин різних матеріалів

На графіках (рис.1) зображено як змінюються ємності C_1, C_2 та C_3 від товщин h_1 (гетінакс), h_2 (склотекстоліт) та h_3 (полістирол). Зі збільшенням товщини відповідних матеріалів пропорційно збільшується ємність плоских конденсаторів датчиків, що дає можливість спростити обробку вимірювальної інформації безпосередньо інформаційно-вимірювальною системою та збільшити її швидкодію.

В процесі проведеної роботи була розроблена електрична схема інформаційно-вимірювальної системи із підключенням опорного каналу з еталонним зразком матеріалу та із підключенням вимірювального каналу з контрольованим матеріалом. На рисунку 2 показана спрощена електрична схема інформаційно-вимірювальної системи, що використовується для дослідження різних режимів її роботи.

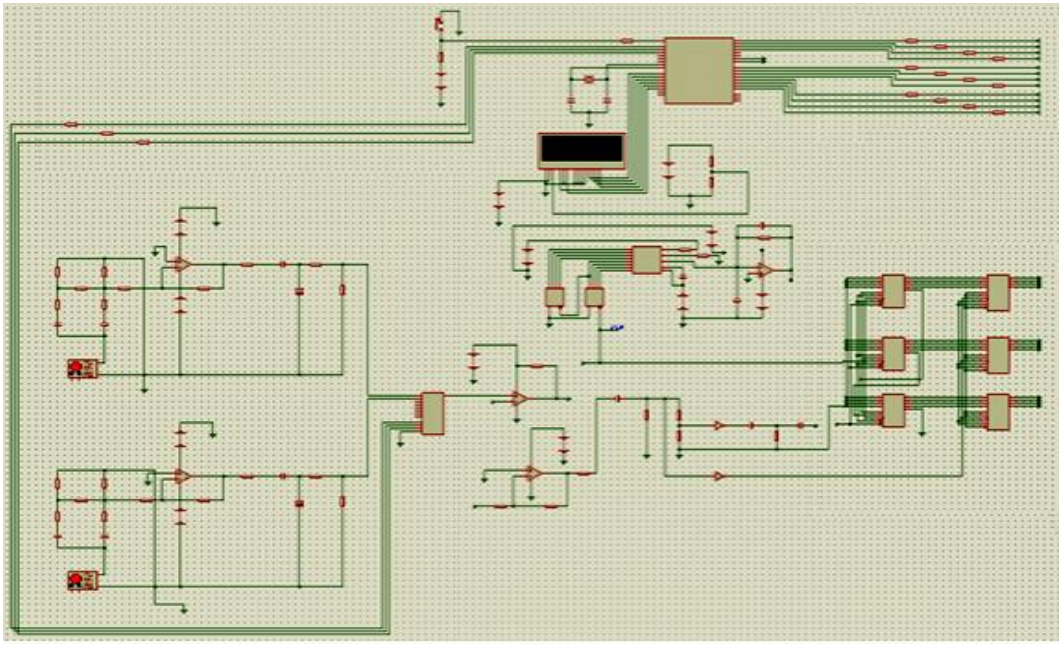


Рисунок 2. Спрощена електрична схема інформаційно-вимірювальної системи для контролю товщини різних матеріалів

В запропонованій інформаційно-вимірювальній системі (рис.2) використовується зовнішній АЦП [3] і аналоговий мультиплексор, які дають можливість підключати інші вимірювальні канали для різних точок виробу та оцифровувати вимірювальну інформацію, що подається з їх виходів на АЦП, а також передавати цю інформацію в цифровому вигляді на мікроконтролер.

ВИСНОВКИ

Результати дослідження функціональної залежності між ємністю "плоского" конденсатора та товщиною контрольованого матеріалу, що розміщується між його обкладинками, свідчать про можливість створення різноманітних вимірювальних перетворювачів з врахуванням властивостей матеріалів для подальшого їх використання із мікроконтролерними системами. Такий підхід до розробки нових вимірювальних перетворювачів та систем широко застосовується у промисловості для забезпечення високої якості готової продукції та вимагає подальшого розвитку.

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] Кухарчук В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: Підручник / В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський, В.В. Грабко. – Херсон: Олді-плюс, 2013. – 538 с.

[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.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Барилко С.В.

УДК 621.317.7

Р.С. Теличко, студент гр. ПІ-32мп, к.т.н. Щербань А.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТРЕКІНГОВИХ СИСТЕМ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. У даній статті розглянуто ефективність впровадження сонячних трекінгових систем, які відстежують положення сонця протягом доби та обертають сонячні панелі у напрямку джерела світла для забезпечення вищої продуктивності генерації електроенергії, порівняно їх ефективність з статичними системами.
Ключові слова : альтернативні джерела енергії, сталий розвиток, solar tracking system.

ВСТУП

Враховуючи світовий тренд на підвищення використання альтернативних джерел енергії, доречно розглянути проблематику використання найпопулярніших із них – сонячних панелей. Вони широко використовуються в усьому світі в тому числі і в Україні, при чому популярними є як інвестиції у комерційні рішення, спрямовані на отримання прибутку з продажі електроенергії за зеленим тарифом, так і приватні рішення, які дозволяють заощаджувати. Також останнім часом можна спостерігати збільшення використання сонячних панелей на таких об’єктах як світлофори, ліхтарі, та інших об’єктах комунальної власності, що є наслідком можливих відключень електроенергії.

ПРОБЛЕМАТИКА

Земля обертається навколо Сонця по еліптичної траєкторії, за один рік. Щоб краще уявити розташування Землі та Сонця, учені використовують уявну кулю - "небесну сферу", що оточує Землю. "Небесний екватор" - це лінія, що проходить посередині цієї сфери, а "небесні полюси" - точки на кінцях осі, навколо якої обертається Земля. З точки зору людини на Землі здається, що Сонце рухається по овалу в небі, під нахилом 23,458 градусів до екватора небесної сфери. Окрім того, Земля обертається навколо своєї осі один раз на добу. Це обертання Землі ми бачимо як обертання небесної сфери. Щоб визначити, де на небі знаходиться Сонце в даний момент, використовується "годинний кут" - кут між меридіаном, що проходить через Сонце, і меридіаном точки, з якої ведеться спостереження. Годинний кут дорівнює нулю в сонячний полудень і збільшується протягом дня, досягаючи максимуму на заході Сонця. [1].

Наслідком руху Землі є той факт що протягом доби сонячне світло змінює кут падіння на розташовані статично сонячні панелі, чим викликає нерівномірну ефективність генерації.

Позначимо область панелі як S_0. Для фіксованих панелей площа проекції на площину, орієнтовану перпендикулярно до напрямку опромінювання, розраховується як $S = S_0 \cos\theta$, де θ змінюється протягом доби в інтервалі (- π/2, +π/2). Кутова швидкість руху Сонця по небу дорівнює $w = 2\pi / T = 7.27 \times 10^{-5}$ рад/с, а диференціал енергії падіння становить $dW = (IS)dt$. Нехтуючи впливом атмосфери, енергія на одиницю площі розраховується на всю добу:

$$W = \int_{-21.600}^{21.600} (IS_0 \cos \omega t) dt = IS_0 \left[\frac{\sin \omega t}{\omega} \right]_{-21.600}^{21.600} = \frac{2IS}{\omega} \quad (1)$$

За умови використання трекінгової системи, припускаючи відсутність впливу атмосфери, енергія на одиницю площі протягом усього дня складає:

$$W = IS_0 t \quad (2)$$

Порівнюючи рівняння (1) і (2), виявляється, що в останньому випадку за розрахунками можна отримати на 57% більше енергії [2].

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Експеримент відбувся у місті Каскавель, Парана. Географічне положення фіксованої сонячної електростанції визначається за координатами 24°54'57.58" південної широти та 53°21'10.07" західної довготи, на висоті приблизно 750 метрів. Географічне розташування сонячної станції відповідає координатам 25°21'27,61" південної широти та 53°30'53,54" західної довготи, на висоті близько 745 метрів.

Збір даних був розподілений на два періоди: перший включав листопад і грудень 2021 року, а другий - січень і лютий 2022 року, кожен з них тривав 30 днів. У цьому експерименті аналізувалися фактори, що впливають на генерацію фотоелектричної енергії між стаціонарною установкою та установкою з трекером, такі як орієнтація фотоелектричних модулів та відстеження сонячної траєкторії, яке здійснюється за допомогою трекера. У першій частині експерименту дані були зібрані на стаціонарній установці з орієнтацією на північ, для якої рекомендовано нахил 24° для досягнення оптимальної продуктивності. У другій частині експерименту використовувалась одноосьова трекінгова система. Напрямок руху визначався за допомогою складних алгоритмів відстеження, які також контролюють інтенсивність сонячного випромінювання для максимізації вихідної потужності.

Результати експерименту за листопад і грудень 2021 року наведено на рис.1

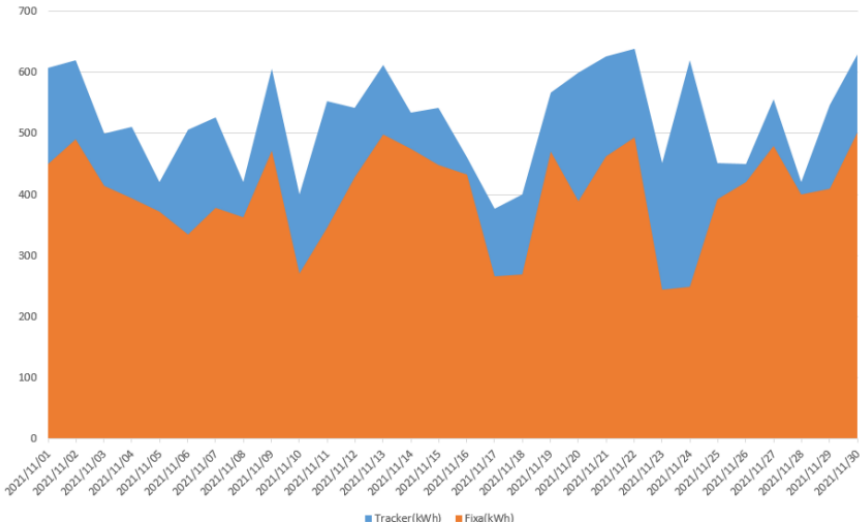


Рисунок 1 – діаграма порівняння генерації напруги при використанні статичної та трекінгової систем (перший період)

На рис.1 синім кольором зазначено результат генерування напруги трекінговою системою, відповідно помаранчевим кольором статичною.

На рис.2 зображено результати за січень і лютий 2022 року.

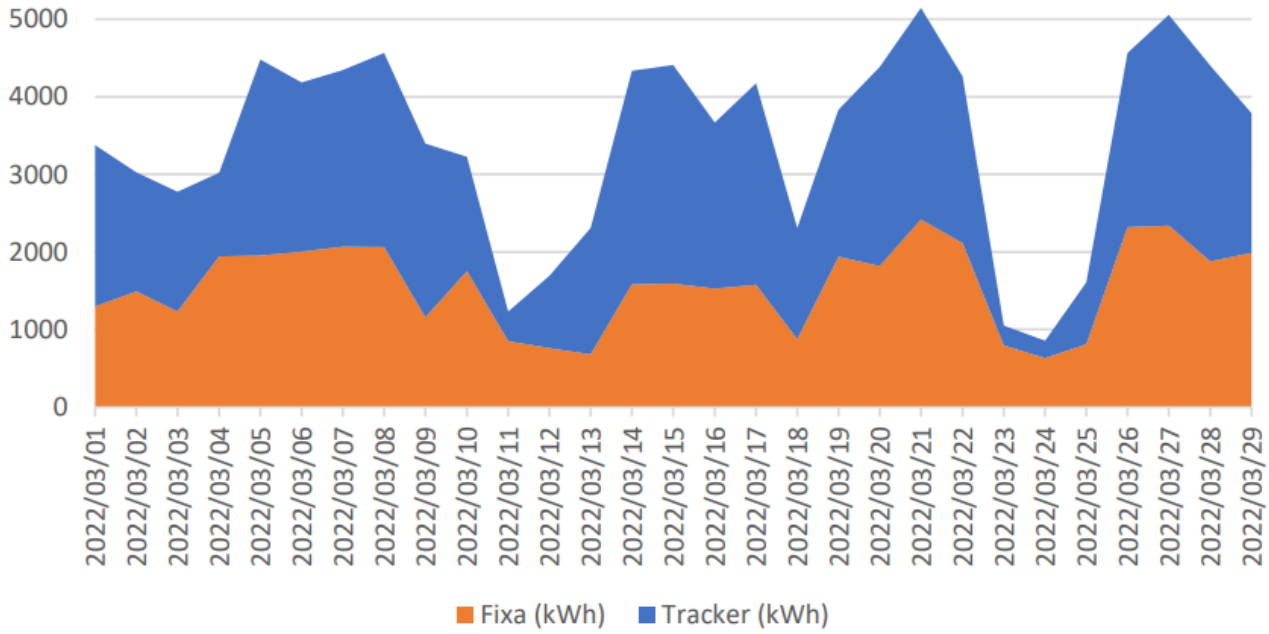


Рисунок 2 – діаграма порівняння генерації напруги при використанні статичної та трекінгової систем (другий період)

Отже аналізуючи результати експерименту представлені на рис.1,2 можна зробити висновок, що ефективність генерації сонячної енергії за допомогою трекінгової системи перевищила 30% у порівнянні з фіксованою системою. Протягом чотирьох місяців збору дані показали, що трекерінгова система продемонструвала вищу генерацію електроенергії у всі дні збору порівняно з фіксованою системою[3].

Розглянемо інший менш масштабний експеримент метою якого було порівняти продуктивність сонячної панелі з системою відстеження сонячних променів у порівнянні з фіксованою фотоелектричною панеллю того ж типу.

Метод проведення: дві фотоелектричні панелі будуть розташовані поряд протягом однакового періоду часу, і вихідна енергія кожної панелі буде вимірюватися та порівнюватися. Експериментальні вимірювання будуть проводитися в різних метеорологічних умовах з метою порівняння додаткової вихідної енергії, отриманої від фотоелектричної панелі, що оснащена механізмом відстеження сонячних променів.

Експериментальні дані, записані 14.07.2011 між 09:03:39 год та 13:03:39 год, мають різницю в 1 секунду для відстеження сонячної панелі (трекінгової) та стаціонарної. Це призводить до реєстрації результатів зі специфічними похибками, зумовленими змінами температури опорів навантаження, неідеальними контактами та позиціями тощо. Результат дослідження наведено на рис. 3 [4]

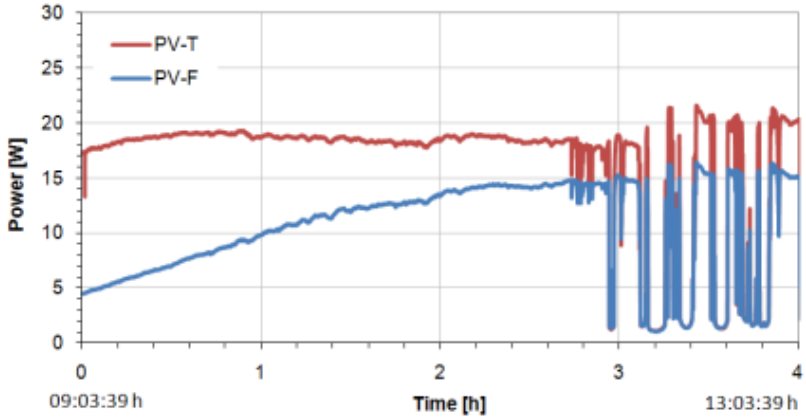


Рисунок 3 – діаграма порівняння генерації напруги при використанні статичної та трекінгової систем

На рис.3 зазначено червоним кольором згенеровану потужність відносно часу для трекінгової системи, відповідно синім кольором для статичної системи, аналізуючи діаграму, зазначимо що за сприятливих метеорологічних умов трекінгова система стабільно генерує більшу кількість енергії, але коли сонце заходить за хмару (просадки на діаграмі), обидві системи показують однаково низький рівень генерації енергії.

ВИСНОВОК

Проведений аналіз теоретичних матеріалів та експериментальні дослідження підтверджують збільшення продуктивності приблизно на 30% генерації сонячної енергії при використанні трекінгових систем у порівнянні зі статичними. Важливо зазначити, що трекінгові системи сонячної енергії, як правило, мають трохи вищу початкову вартість, ніж статичні системи. Однак ця додаткова вартість може бути компенсована з часом завдяки збільшенню генерації енергії та економії коштів на рахунках за електроенергію.

При виборі трекінгової системи сонячної енергії важливо враховувати такі фактори, як розмір та орієнтація ділянки, тип сонячних панелей та інверторів, а також бюджет проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] T. Markvart, Solar electricity, 2nd ed., New York, NY, USA: John Wiley and Sons Inc.1996, pp. 8-13.

[1] H. Mousazadeh, A. Keyhani, A. Javadi, H.Mobli, K. Abrinia, A. Sharifi «A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output Renewable and Sustainable Energy», in *Renewable ad Sustainable Energy Reviews* vol. 13, no. 8, 2009, pp. 1800-1818.

[2] C. F. Lewandoski, R. F. Santos, D. Canfild «Study of the Efficiency of the Solar Tracker System compared to the Fixed Solar Generation System» in *Research, Society and Development*, vol. 11, no. 6, 2022.

[3] T. Tudorache, C. Oancea, L. Kreindler «Performance evaluation of a solar tracking PV panel» in *UPB Scientific Bulletin*, vol. 74, 2012.

Наук. керівник –к.т.н., Щербань А.П.

УДК 616.035

М.В. Шульга, студент гр. ПІ-31мп, к.т.н., ст. викл. Морозова М.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СИСТЕМИ РЕАБІЛІТАЦІЇ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ

Анотація. Проведено огляд питань, що стосуються реабілітації військовослужбовців. Виокремлено систему реабілітації та окремі її блоки. Система заснована на комплексному підході, який включає медичну, психологічну та технічну підтримку. Використання новітніх технологій дозволить поліпшити якість та ефективність процесу реабілітації. Однак при впроваджені нових методів треба враховувати як позитивні, так і негативні аспекти, чинники, що можуть стати перешкодою ефективній реабілітації.

Ключові слова: реабілітація, система, військовослужбовці, мікроклімат, технології.

ВСТУП

Військова служба завжди була не лише покликанням, але й викликом для фізичного та психічного здоров'я особистості. У сучасному світі, де загрози можуть накладатися не лише на полі бою, але й на психічний стан військовослужбовців, питання їх реабілітації набуває особливої важливості [1].

Термін "реабілітація" запозичений із латинської мови і складається з префікса "re" — відновлення та прикметника "habilitas" — сприяти, користь. Дослівний переклад терміна означає "відновлення корисності для чогось" [2].

Реабілітація у контексті військової служби — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення та підтримку фізичного та психічного здоров'я військовослужбовців після їхньої участі в бойових діях або під час військової служби в цілому [1]. Цей процес не лише сприяє швидшому поверненню до повсякденного життя, але й забезпечує психологічну стійкість та професійну готовність до подальших завдань.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Ключову роль у процесі реабілітації військовослужбовців відіграє контроль мікроклімату у місцях проходження реабілітації [3]. Оптимальні показники температури, вологості та якості повітря в приміщеннях, де знаходяться військовослужбовці, є важливими для їхнього загального самопочуття та швидкого відновлення. Забезпечення комфортних умов перебування сприяє ефективній реабілітації.

Українська система реабілітації військовослужбовців базується на комплексному підході, що включає медичні, психологічні, соціальні та професійні аспекти [1]. Наприклад, програми реабілітації у військових лікувальних закладах, психологічна підтримка та консультування, а також навчання новим навичкам і професійна реорганізація.

Країни Європи та Північної Америки також мають розвинуті системи реабілітації для військовослужбовців [3]. Наприклад, програми фізичної терапії, психологічної підтримки та професійної перепідготовки військовослужбовців після повернення з бойових дій.

Системи реабілітації військовослужбовців мають свої сильні та слабкі сторони. Серед сильних можна відзначити наявність висококваліфікованих медичних команд у багатьох країнах, які забезпечують комплексну допомогу з

різних видів травм та психологічних проблем. Також важливою є можливість професійної підготовки, яку надають системи реабілітації, дозволяючи військовослужбовцям навчатися новим професійним навичкам та переорієнтуватися на цивільне життя після служби.

Проте є й слабкі сторони. Деякі системи реабілітації не приділяють достатньої уваги контролю мікроклімату, що може впливати на якість і швидкість відновлення військовослужбовців. Також існує проблема нестабільності фінансування, коли деякі програми реабілітації залежать від державних коштів, які можуть бути непередбачуваними та недостатніми для забезпечення повного спектру послуг.

Для поліпшення процесу реабілітації військовослужбовців пропонуються нові методи та технології. Один зі способів - використання віртуальної реальності для психологічного відновлення та тренування. Це може допомогти військовим з різними видами травм або психологічними проблемами адаптуватися до нових умов і покращити їхні психологічні стани.

Також ведеться розробка інноваційних пристроїв та апаратних засобів для фізичної реабілітації, наприклад, екзоскелетів або біонічних пристроїв. Ці технології можуть допомогти військовим відновити моторні функції та полегшити процес реабілітації після травм або операцій. Крім того важливо впровадити системи інтелектуального управління мікрокліматом, які автоматично регулюють температуру, вологість та інші параметри у приміщеннях для реабілітації. Це сприяє створенню комфортних умов для військовослужбовців під час процесу реабілітації та їхньому швидкому та якісному відновленню.

Впровадження рішень ефективної реабілітації має свої переваги та можливі перешкоди. Серед переваг варто відзначити зростання ефективності реабілітаційних програм та скорочення строків відновлення військових. Використання новітніх технологій може підвищити мотивацію військовослужбовців до участі у програмах реабілітації.

Проте існують перешкоди, які можуть ускладнити процес впровадження. Високі витрати на впровадження та підтримку нових технологій можуть стати серйозним фінансовим обтяженням для організацій, що здійснюють реабілітацію військовослужбовців. Також необхідно навчати персонал для роботи з новими системами, що може вимагати додаткових зусиль та ресурсів. Існують і можливі технічні проблеми та збої у роботі нових пристроїв та технологій, які впливають на надійність.

Центральними блоками системи для реабілітації військовослужбовців є сенсорні пристрої та датчики, які вимірюють різні параметри їхнього стану, такі як температура, пульс, рівень стресу тощо. Отримані дані передаються до блоку збору та обробки, де застосовуються програмні засоби для фільтрації та аналізу.

Штучний інтелект та аналітика використовуються для аналізу цих даних та виявлення закономірностей, що можуть вказувати на стан військовослужбовців та необхідність певних заходів реабілітації. Моделі, створені в блоку моделювання стану та рекомендацій, використовуються для прогнозування стану військовослужбовців та надання рекомендацій для їхнього відновлення.

Інтерфейс користувача та взаємодія забезпечують доступ до системи для військовослужбовців та медичного персоналу через інтерфейси, такі як веб-сайти чи мобільні додатки. Звіти та моніторинг забезпечують аналіз ефективності системи та її результатів, включаючи візуалізацію даних, аналіз трендів та підготовку звітів щодо стану військовослужбовців та їхньої реабілітації.

Структура системи реабілітації військовослужбовців включає кілька ключових етапів. Перший етап - це введення даних та збір інформації від сенсорів, датчиків, пристроїв щодо мікроклімату, фізичного стану військовослужбовців. Дані передаються для обробки до центральної системи, де проводиться аналіз. Після цього використовуються інтелектуальні алгоритми для аналізу зібраних даних та виявлення закономірностей між станом військовослужбовців та їхньою реабілітацією.

На основі отриманих результатів розробляються моделі для прогнозування стану військовослужбовців та надання рекомендацій для їхньої успішної реабілітації. Існують також і питання взаємодії військовослужбовців та медичного персоналу з системою. Завершальним етапом є створення звітів, коли система генерує звіти щодо зібраних даних та аналізу.

ВИСНОВОК

Реабілітація військовослужбовців є важливим аспектом підтримки їхнього фізичного та психічного здоров'я після виконання службових обов'язків. Впровадження нових методів та технологій для забезпечення комфортних умов перебування та ефективної реабілітації відіграє ключову роль у покращенні цього процесу.

Застосування нових методів та технологій у системі реабілітації військовослужбовців може призвести до значного покращення показників і підвищення якості життя. Проте необхідно уважно враховувати всі аспекти впровадження для максимізації їхньої користі та мінімізації можливих ризиків і перешкод.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] О. М. Соколова, Н. О. Васюк, Я. Ф. Радиш, "Реабілітація військовослужбовців: термінологія, класифікація, принципи та особливості (до проблеми державного регулювання реабілітації особового складу Збройних Сил України)," Інвестиції: практика та досвід, No 23, с. 148-155, 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.investplan.com.ua/pdf/23_2015/32.pdf — 24.04.2024 р.

[2] Український журнал військової медицини. — 2022. — Т. 3, No 3 [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://ir.nuozu.edu.ua:8080/bitstream/lib/4174/1/25-137-PB.pdf — 24.04.2024 р.

[3] Ю. Л. Бриндіков. Реабілітація військовослужбовців учасників бойових дій в системі соціальних служб: теоретико-методичні основи: монографія / Ю. Л. Бриндіков. — Хмельницький, 2018. — 388 с.

Наук. керівник – к.т.н., ст. викл. Морозова М.М.

Секція 6.
Неруйнівний контроль, технічна та медична діагностика

УДК 621

Р.Д. Брайловський, студент гр. ПК-01
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПАРКУВАННЯ

Анотація. У даній роботі представлені технічні аспекти систем паркування. Розглянуто технічні характеристики, які впливають на функціональність та надійність систем паркування, такі як: сенсори, механізми переміщення, програмне забезпечення та зв'язок з центральним управлінням.

Ключові слова: інфрачервоне випромінювання, час польоту, ультразвук, вимірювання відстані.

ВСТУП

Системи автоматизованого паркування можна умовно розділити на дві групи - пасивні та активні [1]. Системи пасивного паркування лише надають необхідну для паркування інформацію, але керування автомобілем здійснюється безпосередньо водієм. В активних системах паркування автомобіля відбувається в автоматичному або автоматизованому режимі без втручання водія.

При розробці систем допомоги водієві важливо вибрати найбільш оптимальну технологію [2]. Наприклад, засоби допомоги при паркуванні зазвичай покладаються на ультразвукові датчики або відеокамери. В автомобілях преміум-класу реалізована комбінація обох сенсорних технологій, щоб підвищити надійність системи та в той же час збільшити користь для користувача [3]. Одна фотокамера CMOS не може виміряти відстань до об’єкта, але зображення є хорошим способом взаємодії з драйвером. Отже, злиття датчиків призводить до більш складних систем.

У цій роботі розглядаються різні технології датчиків для систем автоматизованого паркування автомобілів, і представлено оптимізований підхід до використання інфрачервоних датчиків для реалізації економічно ефективного, надійного, масштабованого та точного вимірювання навколишнього середовища для водія.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є вивчення динаміки руху транспортних засобів на парковці за допомогою сучасних технологій та аналізу отриманих даних з метою оптимізації систем паркування..

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для удосконалення системи допомоги водієві потрібні розумні датчики. Вибір правильної сенсорної технології або комбінації технологій безпосередньо визначить продуктивність системи, переваги та, зрештою, сприйняття водієм.

Для моніторингу навколишнього середовища автомобіля існують різні оптичні технології зондування, такі як мікроелектронні хвилі (λ = 3 ... 30 мм), ультразвук (λ = 5,0 … 8,5 мм) або модульоване світло (λ = 900 нм …. 980 нм).

Через певну довжину хвилі різні оптичні технології мають різні діапазони вимірювань, роздільну здатність і вартість системи. Лазерна та радарна технологія є відносно дорогою та в основному використовується на великій відстані, наприклад для круїз-контролю.

Ультразвукова технологія є загальноприйнятою технологією асистента паркування. В таких системах, головним елементом виступають ультразвукові датчики, які випромінюють у простір хвилі частотою близько 40 кГц, і при відбитті від перешкоди приймають їх (рис.1). Чим за який відбита хвиля потрапляє на ультразвуковий перетворювач пропорційний відстані до перешкоди, тобто чим менший час тим ближче перешкода і навпаки. Парктроніки побудовані з використанням ультразвукових сенсорів ефективні на відстані 0,25-1,8 м. Отримані сигнали перетворюються на електричні і передаються до обчислювального блоку, де за допомогою обчислень визначається наявність перешкоди та відстань до неї, отримана інформація виводиться на індикаторний пристрій [1]. Індикаторний пристрій відображає інформації про відстань до перешкоди і попереджає водія про небезпеку зіткнення. У цих системах використовуються наступні види індикації: звукова, світлова, цифрова, оптична.

Рисунок 1 – Ультразвукове випромінення парктроніку

Конкурентом ультразвукових паркингів є електромагнітні системи паркування. Такі системи паркування будуються на основі електромагнітних сенсорів, які виконуються у вигляді металізованої стрічки, та блоку обробки сигналів, який суміщають з модулем індикації відстані до перешкоди. Принцип роботи електромагнітних датчиків полягає в створенні електромагнітного поля позаду бампера. При потраплянні стороннього об’єкту в зону контроля відбувається зміна опору цього поля, яка реєструється системою з послідуючим сповіщенням водія за допомогою світлової та звукової індикації.

До переваг електромагнітних систем паркування відносять: відсутність необхідності здійснювати конструкційні зміни в кузові автомобіля, збільшена мінімальна відстань до перешкоди при якій датчик залишається працездатним, не втрачає точність при забрудненні сенсору, точність роботи не залежить від стану навколишнього середовища (погодні умови).

Електромагнітний парктронік включається в роботу тоді, коли автомобіль знаходиться в русі або перешкода рухається. Система реагує не на відстань до

перешкоди, а на зміну.

Паркувальний радар не може оцінити відстань, якщо все статично і змін не відбувається. Приміром, якщо на авто наблизилися до перешкоди приблизно на півметра, система зафіксує і почне пищати, але якщо ви зупинитеся, датчик перестане сигналізувати, вважаючи що парковка завершена.

Якщо ви продовжите рухатися в напрямку перешкоди, парктронік знову включиться.

ВИСНОВКИ

Результатом даної роботи є аналіз роботи двох типів систем паркування: перша працює на принципі ультразвуку, друга – елетромагнітному. Можна зробити висновки, що обидва методи досить точні та мають певні переваги та недоліки.

Системи паркування на принципі ультразвуку відомі своєю широкою доступністю та відносно низькою вартістю встановлення. Така система досить надійна та дозволяє водіям швидко знаходити вільні паркувальні місця. Однак ультразвукові системи можуть бути вразливі до зовнішніх факторів, таких як шум, відбиття звукових хвиль від нерівностей дороги або від низьких перешкод, що можуть призвести до похибок вимірювання відстані.

З іншого боку, системи паркування на електромагнітному принципі є менш чутливим до зовнішніх впливів, таких як шум чи відбиття, тому цей метод більш точний. Однак системи на електромагнітному принципі можуть бути дорожчими у встановленні, і їх ефективність може бути обмежена металевими конструкціями або іншими перешкодами, що здатні блокувати електромагнітні поля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Тимошенко В. Ю. Дослідження ультразвукового пристрою для паркування автомобіля : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка / В. Ю. Тимошенко ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2019. –55 с.

[2] Стрічковий парктронік [електронний ресурс]. — режим доступу: https://sensor.in.ua/ua/a429215-lentochnyj-parktronik.html

[3] Бернольд Рікс. Вимірювання відстані за допомогою датчиків ближнього інфрачервоного діапазону[електронний ресурс]. — режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/300462676

Наук. керівник – к.т.н., доц. Богдан Г.А.

УДК 681.005

А.В. Венчковська, студентка гр. ПК-01, доц. Лисенко Ю.Ю.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ СТАНУ ШКІРИ ОБЛИЧЧЯ

Анотація. Стаття присвячена питанням розробки пристрою для швидкого аналізу стану шкіри обличчя людини. Грунтуючись на властивостях шкіри поглинати та відбивати світлові промені запропоновано пристрій, який опрацьовує електронні сигнали, що містять інформацію про відбиті від шкіри світлові промені. Аналіз таких сигналів за спеціальним алгоритмом дозволяє робити висновки щодо стану шкіри обличчя, а саме зневоднення, ранню пігментацію, наявності невидимих зору підшкірних дефектів тощо.
Ключові слова: система автоматизації, оптичні властивості шкіри, світлові промені, аналіз стану шкіри.

ВСТУП

В сучасному світі все більше з’являється тенденція догляду за своїм здоров’ям за допомогою новітніх технологій та систем автоматизації, а запит суспільства на отримання оперативного результату щодня зростає.

Аналіз стану шкіри обличчя людини є одним із напрямків, що має великий потенціал для дослідження різних методів діагностики, за допомогою яких можна відслідковувати зміни стану шкіри людини та вчасно підбирати індивідуальні алгоритми для догляду або лікування.

На основі даних, отриманих в результаті роботи запропонованого у цій статті пристрою, можна систематично відслідковувати здоров’я шкірного покриву на обличчі та, відповідно до рекомендацій лікаря, покращувати або підтримувати його стан.

У статті проведено аналіз щодо властивості шкіри поглинати та відбивати світлові промені різного кольору та запропоновано пристрій, який дозволяє миттєво вимірювати значення електронних сигналів світлових променів, передавати результати на цифровий носій та проводити аналіз.

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШКІРИ

Світловий промінь, що падає на шкіру, представлений як сукупність фотонів, які мають певну енергію. Частина фотонів відбивається від верхнього шару шкіри – епідермісу. Інша частина фотонів проникає через епідерміс та проникає в глибший шар шкіри - дерму. У дермі фотони поглинаються різними речовинами, як-от меланін (основний фактор, що визначає скільки світла поглинає шкіра), гемоглобін, вода тощо. [2]

Частина світлових променів, які не поглинаються шкірою, відбивається від її поверхні. Цей тип відбиття називається дифузним. Він робить шкіру видимою та надає їй колір. Окрім цього частина світлового випромінювання, що проникає в шкіру, розсіюється всередині неї. Цей тип відбиття називається дифузним. Він робить шкіру сяючою та надає їй глибину.

Здатність шкіри відбивати світло можна проілюструвати схемою, що представлено на рис. 1.[1]

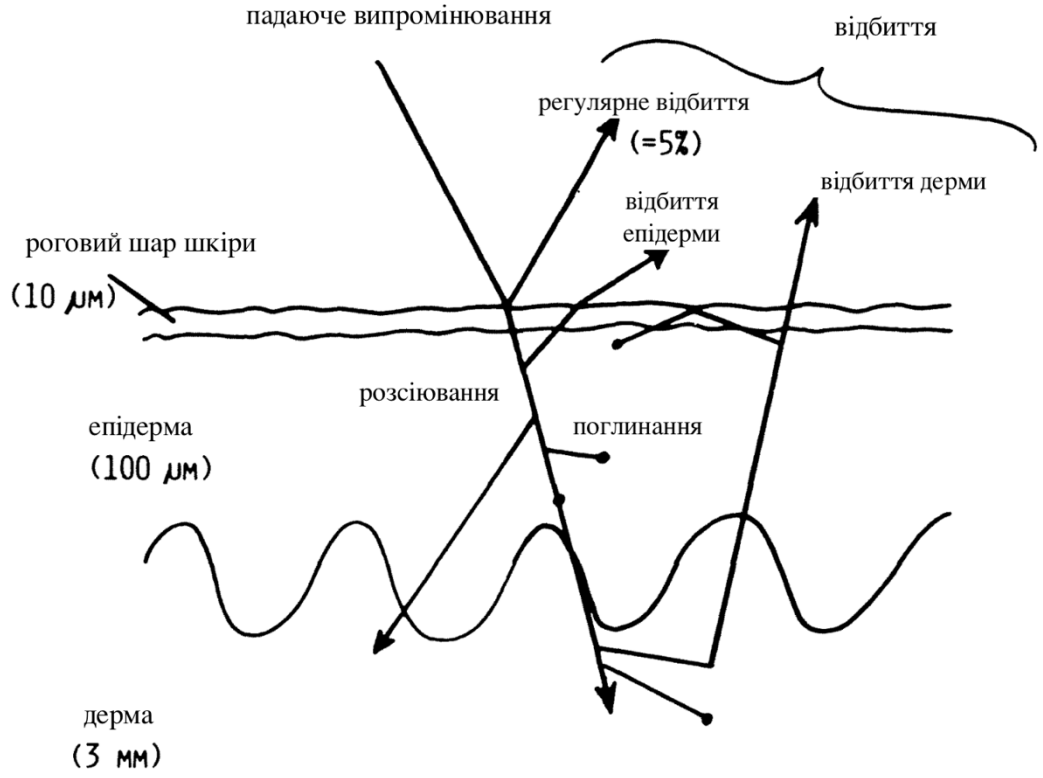


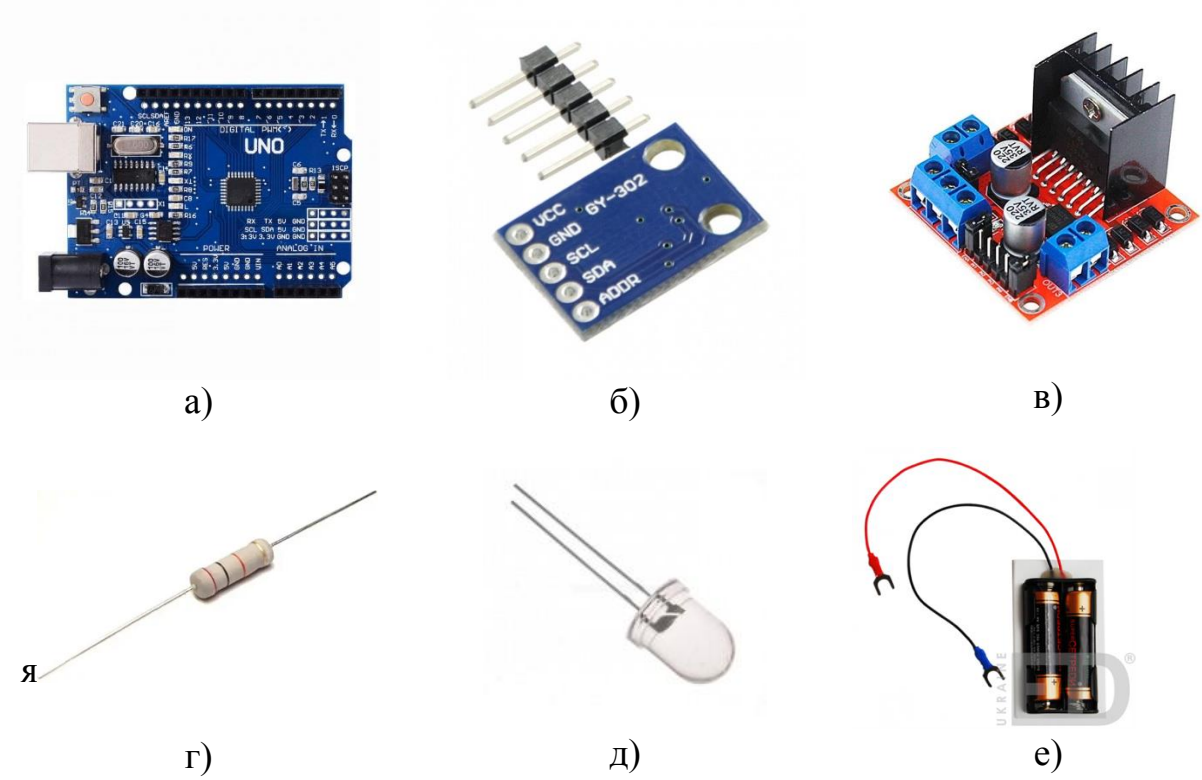
Рис. 1. Схематичне представлення проходження променів через шкіру

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ СТАНУ ШКІРИ ОБЛИЧЧЯ

Попередній огляд інтернет-джерел [3], дозволив виділити ряд структурних елементів, що можуть забезпечити розробку пристрою для автоматизованої системи аналізу стану шкіри обличчя. В основі пристрою використовується контролер Arduino UNO для керування конструкцією (рис. 2а), цифровий датчик освітленості GY-302 на чіпі BH1750 (рис. 2б), що призначений для вимірювання електронних сигналів та перетворення їхніх значень в цифрові, драйвер крокового двигуна Arduino L298N (рис. 2в), у якості підсилювача, світлодіоди різного кольору для відслідковування різних параметрів шкіри (рис. 2д), резистори 100 Ом номінальною потужністю 0,25 Вт для підключення світлодіодів як обмежувачів струму (рис. 2г), та джерело живлення (рис. 2е).

В пристрої будуть використані світлодіоди різних кольорів, завдяки яким можна досліджувати різні параметри стану шкіри. Наприклад, значення електронного сигналу відбиття червоного світла, може використовуватись для оцінки кровообігу або виявлення запалень, зелений – для визначення рівня меланіну та виявлення гіперпігментації. Також зелений добре відбиває зволожена шкіра, тоді як суха – менше. Помаранчевий може допомогти оцінити рівень колагену та виявити ознаки старіння, жовтий колір відбивається від гною, який може утворюватися під час запалення, відповідно допоможе виявляти гнійні інфекції шкіри. Інфрачервоне випромінювання може використовуватись для вимірювання температури шкіри, а також оцінки рівня зволоження. Синій та фіолетовий кольори можуть бути використані безпосередньо для лікування,

наприклад, вбивати деякі види бактерій або лікувати акне, а також стимулювати загоєння ран [4].



а) б) в)

я

г) д) е)

Рис.2. Перелік структурних елементів, що будуть використані для розробки пристрою

ВИСНОВКИ

У даній статті було запропоновано пристрій для швидкого аналізу стану шкіри обличчя людини. Було проаналізовано зовнішні джерела та наукові статті про оптичні властивості шкіри, відповідно до яких сформовано повноцінний пристрій, що може аналізувати різні параметри шкіри за допомогою вимірювання значень електронних сигналів світлових променів різного кольору, що відбиваються від епідермісу та дерми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] R. R. Anderson and J. A. Parrish «Optical Properties of Human Skin», 1932, 147-154

[2] Tom Lister, Philip A. Wright, and Paul H. Chappell "Optical properties of human skin," Journal of Biomedical Optics 17(9), 090901 (24 September 2012). https://doi.org/10.1117/1.JBO.17.9.090901

[3] Огляд структурних елементів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://arduino.ua/

[4] Wunsch A, Matuschka K. A controlled trial to determine the efficacy of red and near-infrared light treatment in patient satisfaction, reduction of fine lines, wrinkles, skin roughness, and intradermal collagen density increase. Photomed Laser Surg. 2014 Feb;32(2):93-100. doi: 10.1089/pho.2013.3616.

УДК 629.7.086

І.О. Довбиш, студентка гр. ПК-11, к.т.н. Муравйов О.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИЗНАЧЕННЯ НАЯВНОСТІ ПОШКОДЖЕНЬ ПРОПЕЛЕРІВ МУЛЬТИКОПТЕРІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Анотація. Аварії з БпЛА у промисловості, агросекторі та у військовій справі призводять до великих фінансових втрат. Вони можуть бути викликані наявністю деформацій пропелерів, що спричинені зіткненнями дронів з перешкодами, роботою в умовах критичних температурах та навантажень. Проведення автоматизованої діагностики пропелерів знижує ризик подальших пошкоджень дрону. У даній статті розглянуто метод такої діагностики на основі обробки акустичних сигналів. Проаналізовано амплітуди звукових сигналів, отриманих при обертанні ушкоджених та неушкоджених пропелерів, проведено їх спектральний аналіз.

Ключові слова: пропелери БпЛА, діагностика, пошкодження, аналіз акустичних сигналів, спектральний аналіз.

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати використовуються наразі у військових цілях, для виконання небезпечних завдань, монотонної та низькокваліфікованої праці, з розважальною метою. Вони зустрічаються у людних місцях для ведення спостережень і відеозйомки, а значить, при падінні можуть ушкодити людину, тварину або елементи інфраструктури. Для попередження аварій необхідно систематично слідкувати за технічним станом дрону. Несправності у роботі сенсорів або навігаційних систем, не є критичними і, здебільшого, дають можливість здійснити безпечну посадку. Натомість ураження двигунів, крил (для БпЛА з фіксованим крилом), пропелерів (для мультикоптерів та БпЛА гелікоптерного типу) є небезпечними і призводять до неконтрольованих падінь.

В умовах невеликої дальності та висоти польоту, а також низького рівня автономності БпЛА, контроль за механічним станом дрону відбувається з боку оператора, шляхом візуального огляду і виявлення змін при керуванні дроном [1]. Падіння автономних чи індустріальних дронів може призвести до втрати усього механізму і великих фінансових збитків, тому використання БпЛА у промисловості та, наприклад, військовій сфері вимагає проведення регулярної технічної діагностики.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Статистичний аналіз аварій цивільних БпЛА показав, що головними причинами падіння є людський фактор, експлуатаційні пошкодження та втрата керування. При цьому більша частина аварій відбувається саме на етапі зльоту БпЛА, що обумовлено наявністю ушкоджень дрону до початку польоту [2].

До експлуатаційних пошкоджень, які призводять до втрати керування і падіння мультикоптерів, відносяться деформації та дефекти пропелерів. Дослідження методів їх виявлення поширені як для безпілотних літальних апаратів, так і для гелікоптерів та літаків. Прикладом такого дослідження є описаний у джерелі [3] спосіб створення нейронної мережі, що визначає пошкодження несучого гвинта гелікоптера на основі вібраційних сигналів.

Пошкодження БпЛА можуть бути виявлені під час польоту, для чого аналізуються дані, отримані від бортових інерційних навігаційних систем або окремих гіроскопів та акселерометрів. При появі дефектів у одного із пропелерів,

БпЛА втрачає баланс, що можуть зафіксувати вищезазначені пристрої [4].

Актуальним є створення моделей штучного інтелекту, які виявляють наявність пошкоджень БпЛА. Вони не лише прискорюють процес технічної діагностики дрону, а й можуть бути частиною автоматизованої системи контролю, що проводиться при запуску кожного дрона [5].

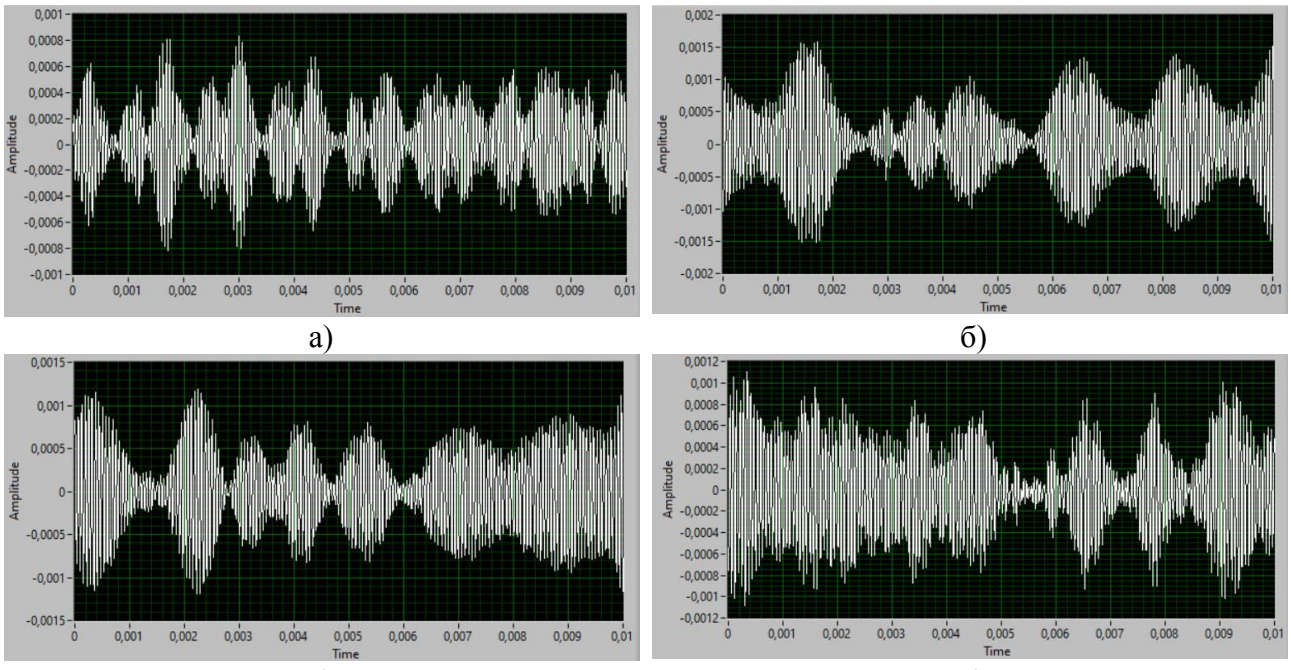
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є визначення відмінностей в акустичних коливаннях, що викликані обертанням неушкодженого та ушкоджених пропелерів мультикоптера. Види проаналізованих ушкоджень вказані на рис. 1.

а) б) в)

Рис. 1. Ушкоджені пропелери, що використовувалися у дослідженні: а) №1; б) №2; в) №3

Для обертання лопатей використовувався безколекторний двигун з метою зниження рівня шуму [6]. Керування швидкістю обертання двигуна здійснювалося за допомогою регулятора ESC та мікроконтролера Arduino Mega. Задля зменшення похибки задано єдину швидкість обертання для визначення звукових сигналів руху усіх пропелерів. На рис. 2 подано графіки зміни амплітуди звукового сигналу працюючого двигуна з пропелером.



а) б)

в) г)

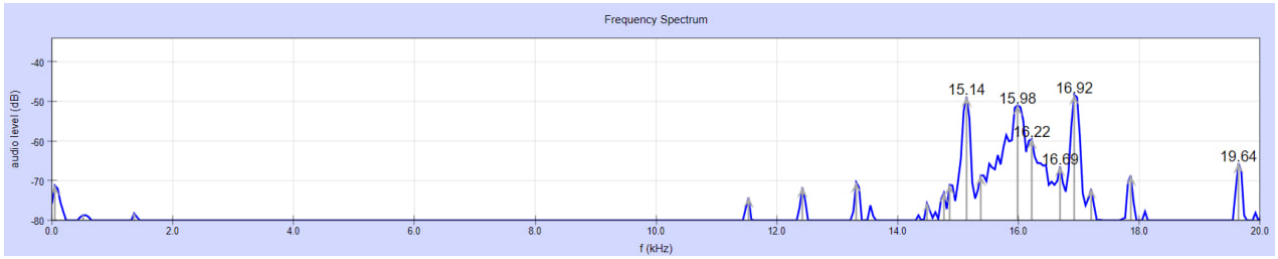
Рис. 2. Графік зміни амплітуди звукового сигналу з плином часу для пропелерів:
а) неушкодженого; б) ушкодженого №1; в) ушкодженого №2; г) ушкодженого №3

Амплітуда звуку для ушкоджених пропелерів (рис. 2, б, в, г) більша, ніж для неушкодженого (рис. 2, а). Це обумовлено розбалансованим станом пошкоджених пропелерів, що створює додаткові коливання під час обертання і вібрації у двигуні та корпусі дрона, що породжують акустичні шуми.

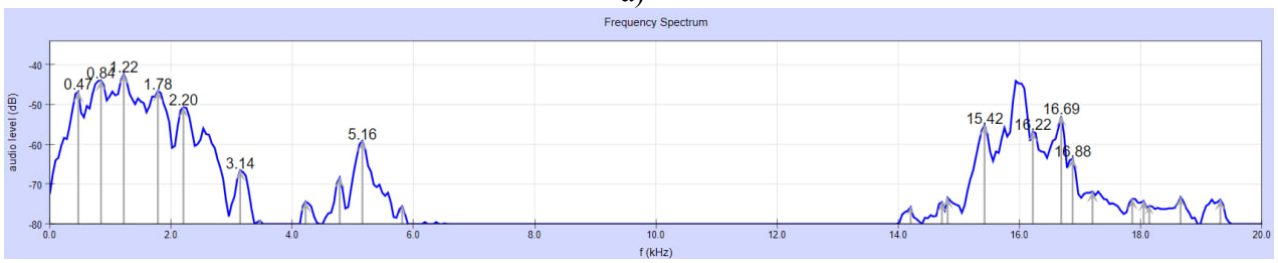
Особливо зашумленим є наведений графік для ушкодженого пропелера №3 (рис. 2, г). Його максимальна амплітуда відрізняється від амплітуди звуку цілого пропелера лише на 20%, адже даний варіант дефекту не сильно впливає на коливання інших деталей дрона, а отже, не породжує додаткових звукових сигналів. Але дане пошкодження змінює потік повітря, що створює шуми.

Зважаючи на те, що амплітуда звукового сигналу також може залежати від розташування мікрофона відносно пошкодженого пропелера та типу приміщення, в якому проводиться аналіз, обробка рівня амплітуди звуку не є достатньою для виявлення деформацій та дефектів пропелерів БпЛА.

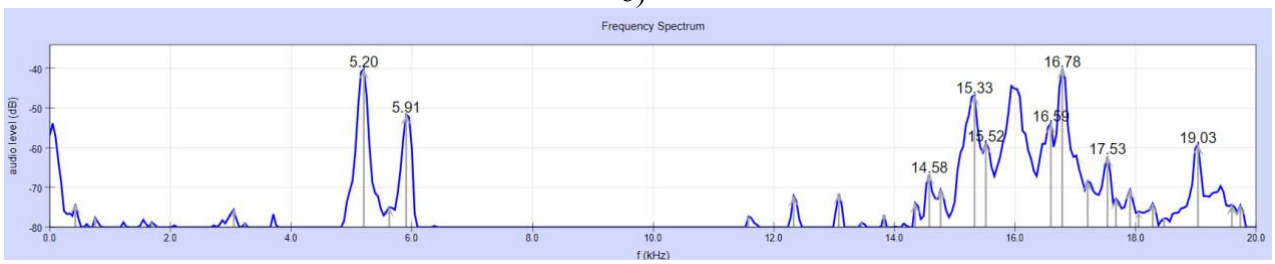
Більш інформативними і зручними для автоматизованого аналізу звуку обертання пропелерів є графіки сигналів у частотній області, показані на рис. 3.



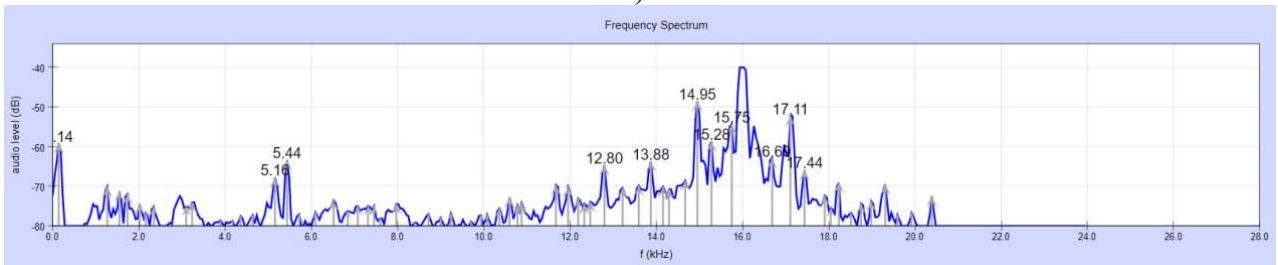
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Спектр частот звукового сигналу для пропелерів: а) неушкодженого; б) ушкодженого №1; в) ушкодженого №2; г) ушкодженого №3

Для неушкодженого пропелера частоти з найбільшою амплітудою лежать в діапазоні від 13 кГц, до 20 кГц, у той час як для лопатей з наявними дефектами спостерігаються яскраво виражені низькочастотні складові сигналу. На амплітудному спектрі пошкодженого пропелера №3 (рис. 3, г) також з'являються частоти, більші за 20 кГц. Діапазон наявних частот на спектрі не залежить від амплітуди вхідного сигналу, але на нього впливатимуть шуми навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

Пошкодження пропелерів БпЛА з високою вірогідністю призводить до розбалансування мультикоптера, втрати керування та аварії. Технічна діагностика цих компонентів дрона може здійснюватися на основі аналізу акустичних коливань, що виникають при їх обертанні. Про наявність ушкоджень свідчать збільшення амплітуди та поява низькочастотних складових звукового сигналу.

Дана діагностика має проводитись за умови мінімізації сторонніх джерел звуку. Можливим є створення автоматизованих систем діагностики пропелерів мультикоптерів на основі аналізу звукових сигналів із застосуванням технологій штучного інтелекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Муравьёв А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьёв // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: 71 матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.

[2] Wild, G. Exploring Civil Drone Accidents and Incidents to Help Prevent Potential Air Disasters / Wild G., Murray J., Baxter G. // Aerospace. – 2016. – 3, 22.

[3] Mjahed S. Helicopter Main Rotor Fault Diagnosis by Using GA- and PSO- based Classifiers / Mjahed S., El Hadaj S., Bouzaachane K., Raghay S. // Studies in Informatics and Control. – 2020. – Vol. 29(1). – pp. 5-15.

[4] Baskaya E. Fault detection & diagnosis for small UAVs via machine learning / Baskaya E., Bronz M., Delahaye D. // In Proceedings of the 2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC), St. Petersburg, FL, USA, 17–21 September 2017. – pp. 1-6.

[5] Iannace G. Fault Diagnosis for UAV Blades Using Artificial Neural Network / Iannace G., Ciaburro G., Trematerra A. // Robotics. – 2019. – 8, 59.

[6] Довбиш І.О. Силові установки та джерела енергії сучасних БПЛА / Довбиш І.О., Муравйов О.В., Галаган Р.М., Богдан Г.А., Момот А.С. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2023. – Том. 34(73) . – №5. – С. 16-21.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Муравйов О.В.

УДК 620.179

Є.П. Жиров, студент гр. ПК-01, д.п.н., проф. Протасов А.Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТЕПЛОВІЗІЙНА СИСТЕМА

Анотація. Мета дослідження полягає у створенні компактного та доступного тепловізора, використовуючи одноплатний комп'ютер Raspberry Pi Zero W та інфрачервоний матричний датчик MLX90640. Головні завдання включають розробку апаратної та програмної основи, інтеграцію датчика з Raspberry Pi Zero W, встановлення оптимальних параметрів системи та проведення експериментів для оцінки її ефективності та можливостей подальшої оптимізації.
Ключові слова: тепловізійна система, тепловізор, Raspberry Pi, інфрачервона камера, MLX90640.

ВСТУП

Дослідження в галузі тепловізії надає нові можливості для вирішення важливих завдань, починаючи від військових додатків до медицини, енергетики та будівництва. Використання тепловізорів значно спрощує процеси виявлення, діагностики та контролю за різноманітними об'єктами та системами. Завдяки їхній високій чутливості та точності, тепловізори дозволяють виявляти аномалії у температурному режимі, що є ключовим для забезпечення безпеки, ефективності та надійності різноманітних технічних процесів.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є розробка та створення компактного та відносно доступного тепловізора на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi Zero W та інфрачервоного матричного датчика MLX90640. Ми спрямовуємося на досягнення таких цілей:

- Розробка апаратної та програмної платформи, яка забезпечить функціонування тепловізора на базі Raspberry Pi Zero W.
- Інтеграція теплового датчика MLX90640 з Raspberry Pi Zero W та розробка програмного забезпечення для зчитування, обробки та візуалізації теплового зображення.
- Визначення оптимальних параметрів та налаштувань системи для забезпечення якісного та точного зображення теплового випромінювання об'єктів.
- Проведення експериментальних випробувань для оцінки ефективності та точності розробленого тепловізора в різних умовах та сценаріях застосування.
- Виявлення можливостей для подальшого вдосконалення та оптимізації розробленого пристрою з метою підвищення його функціональних характеристик.

МЕТА РОБОТИ

Опис апаратної частини

MLX90640 від компанії Melexis — це компактний, безконтактний і доступний масив теплових датчиків інфрачервоного діапазону, який об'єднує 768 (32×24) датчики температури в стандартному 4-вивідному корпусі TO39. Цей датчик здатний зафіксувати детальні теплові зображення, вимірюючи

інфрачервоне випромінювання, що надходить від об'єктів в його полі зору, яке може бути 55° або 110° (в даній роботі використовується камера з кутом зору 110°) і перетворюючи його в значення температури в діапазоні від -40°C до 300°C. Датчик забезпечує високу точність, приблизно ±1.5°C у своєму робочому діапазоні. Дані з інфрачервоних датчиків зберігаються у внутрішній оперативній пам'яті та доступні через інтерфейс I2C.

Raspberry Pi Zero W - це компактний одноплатний комп'ютер з процесором ARM Cortex-A53 з тактовою частотою 1.0 ГГц та 512 МБ оперативної пам'яті. Він має вбудований модуль Wi-Fi та Bluetooth для бездротового зв'язку, HDMI і USB роз'єми для підключення до монітора та зовнішніх пристроїв, а також GPIO для підключення до сенсорів та аксесуарів [1]. Завдяки своєму компактному розміру Raspberry Pi Zero W є ідеальним вибором для розробки вбудованих систем та проектів з обмеженим простором. Використовуючи вбудовані модулі Wi-Fi і Bluetooth, він легко інтегрується у бездротові мережі та забезпечує широкі можливості комунікації.

Протокол I2C – це двонапрямлений та двосполучний протокол зв'язку, що використовується для сполучення різних інтегральних схем, таких як мікроконтролери, сенсори, та інші пристрої. Один або кілька пристроїв можуть бути майстрами, що керують передачею даних, тоді як інші пристрої діють як підлеглі пристрої, які відповідають на команди від майстра.

Інфрачервона камера та одноплатний комп’ютер взаємодіють по протоколу I2C, для цього потрібно з’єднати відповідні виходи блоку матриці та входи одноплатного Raspberry Pi.

Після підключення компонентів, наступним кроком є встановлення необхідних бібліотек для коректної роботи. Для розробки програмного забезпечення для отримання та обробки вхідних даних була обрана мова програмування Python з бібліотеками board, busio, які використовуються для налаштування базової комунікації між комп’ютером і датчиком, adafruit_mlx90640 використовується для отримання масиву зі значеннями температур, та бібліотека matplotlib в парі з numpy використовується для візулізації отриманих даних з датчику [2].

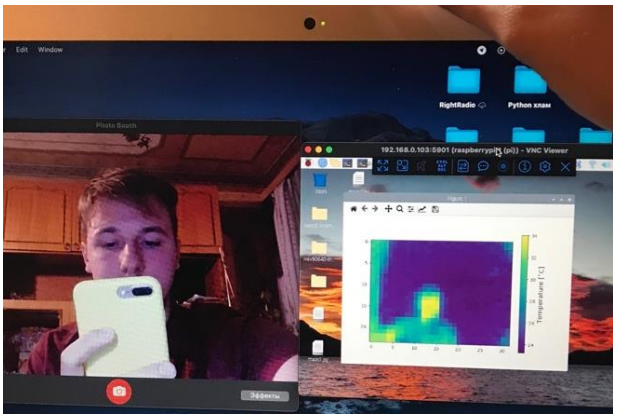


Рисунок 1. Результати сканування та виведення даних без інтерполяції

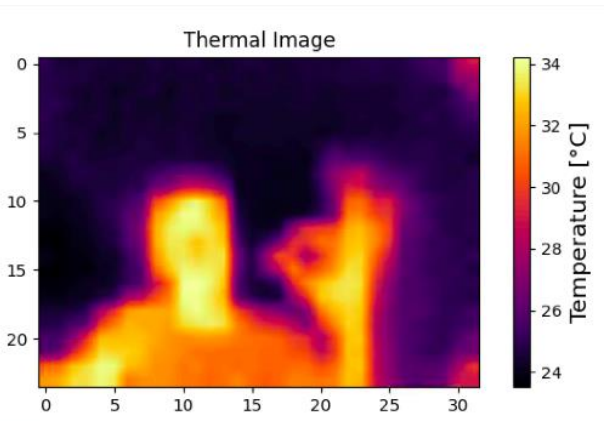


Рисунок 2. Результати сканування та виведення даних з інтерполяцією

Оцінюючи результати зображені на Рисунку 1, можна сказати, що тепловізійна система дозволяє чітко побачити максимум та мінімум температури тепловізійного кадру, але через малу роздільну здатність та недостатню деталізацію об’єктів зображення досить важко оцінити саму геометричну форму об’єкту спостережень, в даному випадку видно лише силует віддалено схожий на голову та тулуб людини.

Можна покращити якість зображення за допомогою пост опрацювання отриманого кадру. Одним із методів пост опрацювання для поліпшення якості зображення є інтерполяція.

Інтерполяція – це процес приближення або прогнозування значень функції в точках, які знаходяться між відомими значеннями. Інтерполяція може бути лінійною, квадратичною, кубічною та іншими видами, залежно від методу, що використовується для наближення функції між відомими точками.

Інтерполяція в контексті зображень використовується для збільшення роздільної здатності, якості зображення. При цьому використовуються алгоритми, які аналізують наявні пікселі та їхні значення, а потім створюють нові пікселі між ними, які дозволяють підвищити роздільну здатність без втрати якості зображення.

Аналізуючи результати на Рисунку 2, можна побачити, що якість зображення покращилась, після обробки з інтерполяцією [3] вхідного зображення вже можна побачити більш чітке зображення людини, збільшилась кількість деталей в зображенні, переходи між різними температурами видно більш явно. Але зменшилась частота оновлення кадрів зображення, оскільки окрім обчислювальних ресурсів для виводу зображення, ще потрібні додаткові потужності для проведення обчислень пов’язаних з інтерполяцією задля збільшення роздільної здатності і якості зображення.

ВИСНОВОК

Підсумовуючи дану роботу, можна сказати, що компактна тепловізійна система на основі інфрачервоного матричного сенсору MLX90640 та Raspberry Pi Zero W в якості обробника вхідних значень, застосування методу інтерполяції для підвищення якості зображення, та виводу кінцевої тепловізійної картинки має достатньо високу роздільну здатність, якість зображення для побутового користування; може використовуватись для таких цілей як аналіз втрат тепла в приміщеннях, найпростіша система нічного бачення; також буде корисною для аналізу та пошуку несправностей, які викликають зміну температури в електронних компонентах на друкованих платах різноманітних приладів. Також така система може бути використана для створення на її базі систему розумного керування мікрокліматом в приміщеннях, де показання з камери будуть аналізуватися програмою, з використанням технологій машинного навчання, яка буде передавати команди увімкнення на нагрівальних чи охолоджувальних пристроїв в приміщенні для досягнення та підтримки заданих користувачем кліматичних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Могильний С. Б. Мікрокомп’ютер Raspberry Pi – інструмент дослідника : посібник. – К. : «Талком», 2014. 310 с.

[2] Основи програмування. Python. Частина 1 [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 122 "Комп’ютерні науки", спеціалізації "Інформаційні технології в біології та медицині" / А. В. Яковенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 1,59 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 195 с. https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/dbbe8ff5-11d7-4a92-918c-d1445c3d20a7/content

[3] Інфрачервоне випромінювання / О. М. Міхєєв, Ю. В. Шиліна // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2011. – Режим доступу : https://esu.com.ua/article-12491

УДК 007.52

О. І. Свищ, студентка гр. ПК-01
КПІ ім. Ігоря Сікорського

М'ЯКІ ЗАХВАТИ В РОБОТОТЕХНІЦІ

Анотація. У даній статті проведено огляд м'яких захватів в робототехніці. Розглянуто існуючі прототипи, технології їх виготовлено та матеріали, які використовуються при їх розробці. Зазначено, що для їх конструкцій найбільш доцільно використовувати гнучкі структури. Наведено найбільш популярні конструкції м'яких захватів.

Ключові слова: робототехніка, захват, конструкція, м'який захвати

ВСТУП

В наступній стадії еволюції роботів-маніпуляторів важливу складову будуть відігравати такі параметри як адаптивність, гнучкість та безпека [1], що може бути забезпечено за рахунок використання м'яких захватних пристроїв в робототехніці.

Розвиток м'якої робототехніки призвів до поштовху застосування м'яких захватів не тільки в якості наукових макетів, а також в якості технологічних механізмів, що зайняли великий сектор захватів для роботів на промисловості [2]. Завдяки своїй м'який природі вони є безпечними для персоналу, особливо на виробничих лініях де разом співпрацюють робот та людина. Цей новий підхід до захоплення об'єктів демонструє низку переваг в різних сферах застосування, таких як: медицина, пакування, виробництво електронних компонентів, харчова промисловість, тощо.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є дослідження конструкцій м'яких захватів в робототехніці.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Технологія виготовлення м'яких захватів та матеріали

На відміну від твердих механічних захватів, м'які мають більше простору для експериментування та дизайну. Матеріал для м'яких захватів зазвичай підбирають з модулем Юнга близьким до м'яких біологічних матеріалів. Це приблизно 1 ГПа [3-4]. Наприклад, для їх виготовлення, найчастіше використовують силікон, гуму або інші види еластомірних полімерів. Це пов'язано з їх фізико-механічними характеристиками та властивостями, такими, гнучкість, легкість, можливість набуття будь-якої форми та інше. Але при їх використанні слід враховувати і негативні фактори, такі як, втомлюваність конструкції, обмеження виготовлення, складність розрахунку.

Для створення м'яких захватів найчастіше використовуються методи лиття та 3Д друк. Ці методи є легкими в застосуванні та недорогими, що дозволяє швидко переходити до стадії прототипування, оскільки роботу м'яких захватів буває складно розрахувати.

Типи м'яких захватів за конфігурацією

У маніпуляторів що використовують м'які захвати, захоплення об'єкта може виконуватись за допомогою деформації гнучких структур, що можуть

деформуватись за рахунок зовнішніх або вбудованих приводів. Захвати, що використовують пасивну деформацію статичних структур, які виникають під час взаємодії з об'єктом є найменш складними в реалізації серед типів захоплень. Зазвичай в такому форматі двигуни знаходяться зовні конструкції. Основною особливістю цього захвату є відсутність будь-яких активних елементів всередині структури. Таким чином досягається висока механічна міцність. З мінусів такого захвату можна виділити потенційні проблеми з надійністю та обмежену варіативність. Одним з типових прикладів таких пасивних структур є "Fin Ray", яка взяла за основу деформацію плавників у риб. (Рис. 1).

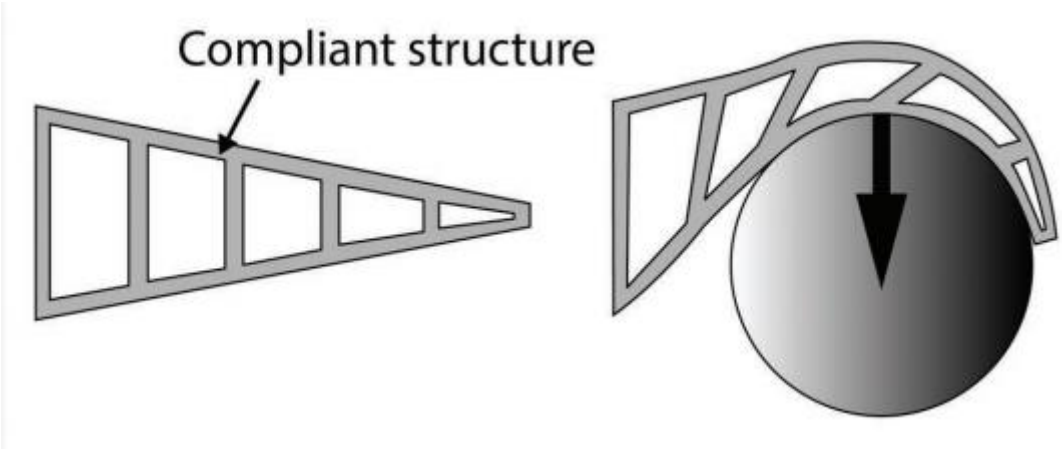


Рисунок 1. Захват типу "Fin Ray", з виділеною м'якою структурою

Також велике розповсюдження отримали захвати, де реакційні сили походять від витягування вбудованих кабелів. Цей захват працює керуючи м'яким тілом за допомогою затягування кабелю в себе (Рис. 2). Проте він має суттєвий недолік, складність його розробки, через розміщення двигунів, шківів та енкодерів.

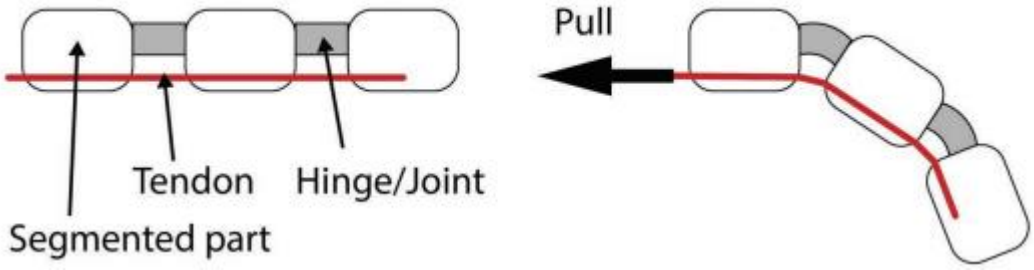


Рисунок 2 . Принцип роботи захвату з вбудованим кабелем. З відміченими сухожиллям, сегментом та з'єднанням

FEAs (також відомі як м'які пневматичні) є найпопулярнішими видами приводів, що використовується в м'яких захватах (Рис. 3). Він базується на створенні тиску в спеціальних камерах в тілі захвату та деформуючи тіло. Такий тип роботи м'якої робототехніки має багато переваг: легкість виготовлення, міцність та низька вартість. Структури таких захватів, як правило, є асиметричними. Такі акуатори можуть формувати великі сили, що будуть

пропорційні тиску рідини або газу всередині. Кут згину може досягати близько 300 градусів за час реакції, що становить від 0,05с до 1с.

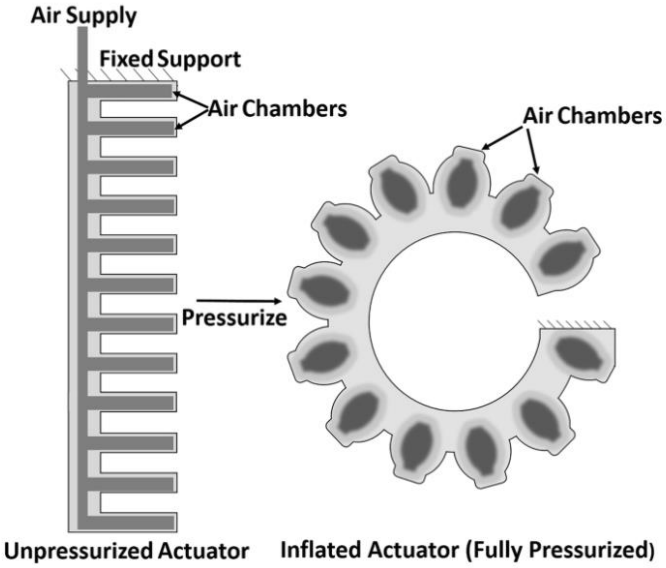


Рисунок 3 . Принцип дії пневматичного приводу

Одним з прикладів гарної реалізації м'якого пневматичного захвату є mGripAI від компанії SOFT ROBOTICS. Цей тип захвату крім м'якого захоплення має 3Д бачення та штучний інтелект. В такому поєднанні він може обробляти делікатні предмети, сортувати невпорядковані групи і самостійно здійснювати пакування. Загалом ця насадка може виконувати різні задачі, проте виробник каже, що найкраще застосування має саме в харчовій промисловості. Кількість пальців може бути змінна, від 2 до 8.

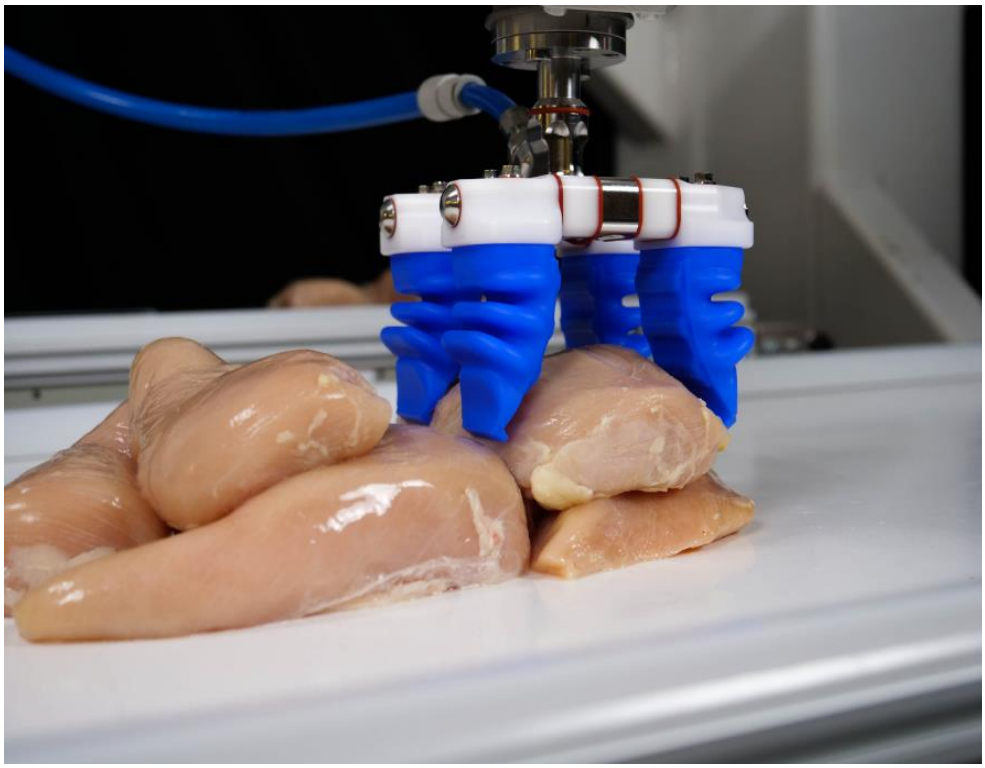


Рисунок 4. mGripAI в роботі

ВИСНОВКИ

У даній статті розглянуто поточний стан м’яких маніпуляторів. М’які роботи вже займають свій сегмент в промисловому середовищі. М’які захвати демонструють пристосованість, необхідну для щоденної взаємодії в неструктурованих середовищах, що стане новим кроком в роботі маніпуляторів в реальних умовах. Однак їх невід’ємний недолік у повторюваності, точності та нижчий силі затискання може бути обмежуючим фактором для їх розвитку. Пневматичні приводи в м’яких захватах є найпопулярнішими на сьогоднішній день. Проте хоча й досягає високої сили затискання, має обмеження в мініатюризації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Dhruba Jyoti Sut & Prabhu Sethuramalingam, «Soft Manipulator for Soft Robotic Applications: a Review», Department of Mechanical Engineering, SRM Institute of Science and Technology, KTR campus, Kattankulathur, 603 203, Chennai, India
[2] Jun Shintake, Vito Cacucciolo, Dario Floreano, and Herbert Shea, «Soft Robotic Grippers», École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
[3] Wang MY, et al. Topology optimized design, fabrication, and characterization of a soft cable-driven gripper. IEEE Robot Autom Lett. 2018;3:2463–70.
[4] Silvia Terrile,Miguel Argüelles and Antonio Barrientos Comparison of Different Technologies for Soft Robotics Grippers 2021, c. 21

Наук. керівник – к.т.н., доц. Богдан Г.А.

УДК 621

М.Ю. Сорока студент гр. ПК-01
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ТОВЩИНОМЕТРІЇ

Анотація. У даній проведено огляд існуючих методів для проведення товщинометрії виробів з різних матеріалів. Розглянуті їх переваги, недоліки та області застосування. Визначено, що в залежності від обраного методу можна вимірювати товщину виробів, як з металів так і н з металів. .

Ключові слова: товщиномір, неруйнівний контроль, ультразвук, метод.

ВСТУП

Товщиноміри використовуються для вимірювання товщини різних матеріалів і покриттів, і вони мають широкий спектр застосувань. У промисловості, включаючи авіацію, суднобудування та машинобудування, ці інструменти допомагають забезпечити якість та відповідність стандартам. У будівництві товщиноміри дозволяють контролювати товщину фарб і лаків, що важливо для захисту від корозії. Автомобільна промисловість використовує їх для перевірки лакофарбового покриття і виявлення попередніх ремонтів.

У медицині та фармацевтиці товщиноміри допомагають контролювати товщину медичних пристроїв і упаковки, забезпечуючи безпеку та якість. Наукові лабораторії застосовують їх для дослідження структури матеріалів, а в електроніці вони корисні для перевірки компонентів. В екології та енергетиці товщиноміри допомагають контролювати товщину ізоляційних матеріалів, що сприяє ефективності енергетичних систем. Таким чином, ці інструменти залишаються необхідними в багатьох галузях, завдяки своїй точності та універсальності..

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є дослідження методів, які використовують при розробці товщиномірів та огляд області їх використання.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сфери застосування товщиномірів.

Товщиноміри, які використовують для вимірювання товщини різних матеріалів і покриттів, відіграють ключову роль у багатьох галузях. Їх застосовують там, де важливо мати точні дані щодо товщини для контролю якості, безпеки та дотримання стандартів.

У промисловості та виробництві товщиноміри допомагають стежити за якістю та відповідністю деталей. Це особливо важливо в авіації та суднобудуванні, де правильна товщина матеріалів впливає на міцність і безпеку. У машинобудуванні та металообробці товщиноміри дозволяють контролювати товщину металевих пластин, листів та інших компонентів, гарантуючи, що вони відповідають стандартам.

У будівництві та інфраструктурі товщиноміри використовують для перевірки товщини фарб і покриттів, що захищають конструкції від корозії та зносу. У цій сфері важливо мати точну інформацію, щоб забезпечити

довговічність та міцність будівель, мостів та інших об'єктів. В автомобільній промисловості товщиноміри допомагають виявляти ознаки попередніх ремонтів, оцінювати рівень пошкоджень і контролювати якість лакофарбового покриття.

У медицині товщиноміри застосовують для вимірювання товщини медичних пристроїв, таких як стенти та катетери. Це необхідно для забезпечення безпеки та ефективності цих виробів. У фармацевтиці їх використовують для перевірки товщини упаковок, що гарантує збереження ліків. У наукових дослідженнях товщиноміри допомагають вивчати властивості матеріалів, а у виробництві електроніки – контролювати якість компонентів і забезпечувати правильну роботу електронних пристроїв. В екології та енергетиці їх застосовують для вимірювання товщини ізоляційних матеріалів, що допомагає підвищити ефективність і знизити вплив на навколишнє середовище.

Види товщиномірів.

Товщинометрія — це технологія, що дозволяє вимірювати товщину різноманітних матеріалів та покриттів. Існує кілька видів товщинометрії, кожен з яких має свої унікальні характеристики і застосування [1-4]. Давайте розглянемо їх докладніше.

Магнітна товщинометрія

Цей метод базується на використанні магнітного поля. Він чудово підходить для вимірювання товщини немагнітних покриттів на магнітних підкладках, таких як сталеві поверхні. Магнітні товщиноміри працюють, вимірюючи силу, з якою магніт притягується до металу, що дозволяє визначити товщину шару. Такий підхід широко застосовується в автомобільній промисловості для перевірки лакофарбових покриттів, а також у суднобудуванні, де важливо гарантувати захист від корозії.

Вихрострумова товщинометрія

Цей метод використовує електромагнітні струми, які індукуються у матеріалі. Він підходить для вимірювання товщини електропровідних матеріалів, а також ізолюючих покриттів на металевих підкладках. Едді-струмові товщиноміри часто використовуються в авіації та машинобудуванні, де потрібна висока точність і контроль якості. Цей метод також дозволяє проводити вимірювання без прямого контакту з поверхнею, що особливо корисно в ситуаціях, коли доступ до матеріалу обмежений.

Ультразвукова товщинометрія

Ультразвукові товщиноміри використовують звукові хвилі високої частоти для вимірювання товщини різних матеріалів. Цей метод дозволяє проводити вимірювання, навіть якщо доступ до протилежного боку обмежений, оскільки ультразвук може проникати крізь матеріали і відбиватися назад. Ультразвукову товщинометрію часто застосовують у будівництві та промисловості, де потрібно перевіряти товщину бетону, металів чи інших структурних матеріалів.

Механічна товщинометрія

Механічні товщиноміри використовують механічний контакт для вимірювання товщини. Вони зазвичай складаються з голки або штифта, що доторкається до поверхні, і шкали, що показує товщину. Цей метод відносно простий і використовується там, де потрібен базовий контроль товщини,

наприклад, у виробництві чи на складських ділянках.

Оптична товщинометрія

Оптичні товщиноміри застосовують світло для вимірювання товщини. Це може бути інтерферометрія, спектроскопія або інші оптичні методи. Вони особливо корисні для вимірювання дуже тонких шарів, як-от у виробництві електроніки, нанотехнологіях або фармацевтиці. Оптичні методи зазвичай забезпечують високу точність, що робить їх популярними в наукових дослідженнях і високотехнологічних галузях.

Рентгенівська та гамма-товщинометрія

Ці методи використовують рентгенівські або гамма-промені для вимірювання товщини. Вони можуть проникати крізь різні матеріали, що дозволяє проводити вимірювання без руйнування об'єктів. Ці методи підходять для вимірювання товщини металів і застосовуються в промисловості, металургії та суднобудуванні, де потрібна висока точність.

Кожен із цих видів товщинометрії має свої переваги й обмеження. Вибір методу залежить від типу матеріалу, умов вимірювання та необхідної точності. Це робить товщинометрію універсальною технологією, що застосовується в багатьох галузях, від промисловості до медицини й екології.

ВИСНОВКИ

Товщиноміри є важливим інструментом для багатьох галузей, допомагаючи забезпечити якість, безпеку та довговічність різних виробів і конструкцій. Вони дозволяють швидко і точно вимірювати товщину матеріалів, що є критично важливим для контролю якості, виявлення дефектів та прогнозування зносу. Завдяки своїй гнучкості і широкому спектру застосувань, товщиноміри залишаються незамінним інструментом у багатьох сферах діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Білокур І. П. Основи дефектоскопії : Підручник. – К.: „Азимут-Україна”, 2004. – 496 с.

[2] Контроль неруйнівній. Терміни та визначення.: ДСТУ 2865-94.– К., 1994. – 55 с.

[3] Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс] / Р. М. Галаган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 5,12 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

[4] Богдан Г.А., Пітух І.О. Ультразвуковий товщиномір із можливістю синхронізації з пристроєм на базі операційної системи “ANDROID”. XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 16-17 травня 2023 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна: збірник праць конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С. 299-302.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Богдан Г.А.

УДК 57.087:612.176

Я.В. Стрельчук, студент гр. ПК-01
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ СТРЕСУ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ ДАНИХ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЇ

Анотація. Стрес є важливим фактором, що впливає на здоров'я людини, а його вчасне виявлення може значно поліпшити якість життя. У роботі досліджується актуальна проблема ідентифікації стресових станів за допомогою сигналів фотоплетизмографії, отриманих із носимого сенсора Shimmer 3. Метою роботи є розроблення ефективного методу раннього розпізнавання стресу, зокрема через аналіз змін у варіабельності серцевого ритму під час різних станів: спокою та стресу. Відмінною особливістю дослідження є також використання звуку сирени сигналу повітряної тривоги у ролі чинника стресу. Методологія дослідження включає збір та аналіз біосигналів, що дає змогу оцінювати функціонування серцево-судинної системи людини під впливом стресових факторів. Результати дослідження засвідчили значні відмінності у показниках серцевої ритмічності в залежності від стану особи, що підкреслює потенціал таких метрик як інструменту для моніторингу здоров'я та виявлення стресу. В роботі запропоновано новий підхід до використання фотоплетизмографії для оцінювання стресових реакцій, що може сприяти розробленню персоналізованих методів управління стресом.

Ключові слова: фотоплетизмографія, варіабельність серцевого ритму, стрес, носимі датчики, раннє виявлення стресу, здоров’я серцево-судинної системи, моніторинг здоров’я, сигнал повітряної тривоги, індивідуальне управління стресом.

ВСТУП

Стрес - це природна фізична і психічна реакція на життєвий досвід. Кожна людина час від часу відчуває стрес. Він може виникати через різні чинники (стресори) – повсякденні обов'язки, робота і сім'я, серйозні життєві події, виявлений діагноз, війна або смерть близької людини. Організм реагує на стрес вивільненням гормонів, які збільшують частоту серцебиття і дихання та готують м'язи до реакції. У ситуаціях де існує безпосередня загроза здоров’ю та життю людини це є корисним. Але якщо така реакція не припиняється і рівень стресу залишається підвищеним набагато довше, ніж необхідно для виживання, це може негативно позначитися на здоров'ї. Хронічний стрес може сприяти розвиненню фізичних та психічних захворювань, таких як: діабет, артрит, гіпертонія, тривожні розлади, депресія. Вищеописане свідчить про важливість розпізнавання стресу та виконання заходів профілактики. Наразі наявні різні методи якісного виявлення стресового стану, які ґрунтуються на даних отриманих за допомогою електрокардіографії, електроенцефалографії, електроміографії. Проте ці методи потребують стаціонарного розташування пацієнта, освіченого персоналу та суворого дотримання методології вимірювання, що є не завжди доступним як фізично так і фінансово.

Аби спростити процедуру визначення стресу запропоновано використовувати носимі пристрої для вимірювання, з яких сигнал буде передаватися на телефон або портативний комп’ютер. Це можна робити швидко, зручно, а головне постійно. Це дає можливість точно відслідковувати зміни стану організму людини та знаходити кореляції між різними видами біологічних сигналів. Такими пристроями є сенсори фотоплетизмографії, із використанням яких було проведено дане дослідження.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження сигналів фотоплетизмографії отриманих під

час виміру у стані спокою та під впливом стресу, для того, щоб запропонувати ефективний метод розпізнавання стресу на початковій стадії. В якості стресора було обрано сигнал повітряної тривоги, який передається за допомогою сирени та досліджено її вплив на осіб з різних культур та різним життєвим досвідом.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Задля отримання біосигналів для подальшого аналізу був використаний сенсор Shimmer 3, а саме модуль з наявною можливістю збору сигналів фотоплетизмографії. Фото сенсора зображено на «Рисунку 1». Цей модуль дає змогу у режимі реального часу з носимого невеликого пристрою передавати дані та зберігати їх на комп’ютері чи на телефоні. Компанія, що випускає ці пристрої акредитована відповідно до стандарту управління якістю ISO 9001 і стандарту ISO 13485 щодо медичних пристроїв.

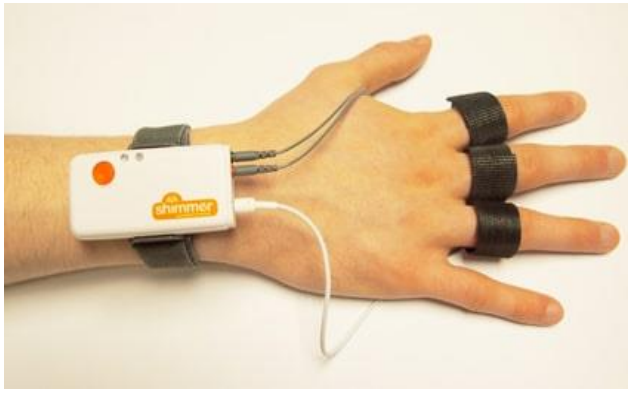


Рисунок 1. Фото сенсора Shimmer 3

Фотоплетизмографія (ФПГ) – це неінвазивна технологія, яка використовує джерело світла та фотоприймач на поверхні шкіри для вимірювання об'ємних змін кровообігу. Типовий пристрій ФПГ містить джерело світла і фотоприймач. Джерело світла випромінює світло на тканину, а фотоприймач вимірює відбите світло від тканини [1]. Відбите світло пропорційне змінам об'єму крові Похідна хвиля сигналу ФПГ містить важливу інформацію, пов'язану зі здоров'ям людини. Таким чином, аналіз цієї хвилі може допомогти дослідникам і лікарям оцінити різні серцево-судинні захворювання, такі як атеросклероз і жорсткість артерій.

На «Рисунку 2» зображено приклад графіка серцебиття, отриманого за допомогою технології ФПГ.

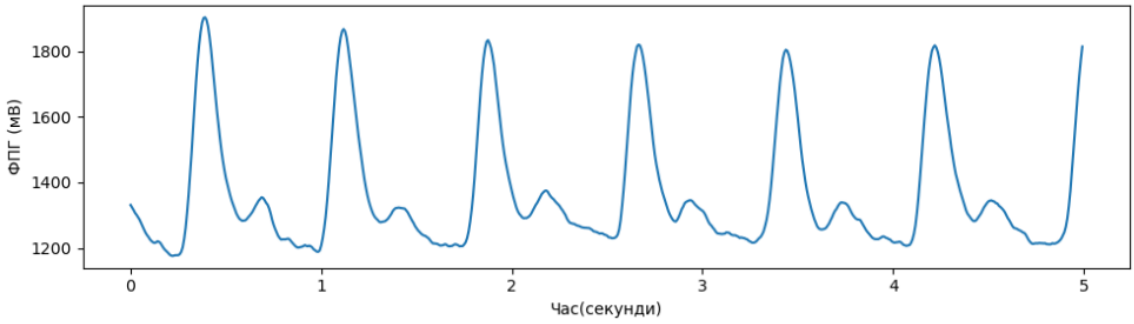


Рисунок 2. Фотоплетизмограма

Схема протоколу формування та вимірювання сигналів ФПГ зображена на «Рисунку 3». Учасники тесту 5 хвилин проводили у спокої без подразників, далі проводились заміри тривалістю 3 хвилини, аби отримати результати у стані особи без стресу. Після цього вмикався сигнал повітряної тривоги та проводився замір наступних 3 хвилин. Тоді збиралися дані про відновлення нервової системи, ще 3 хвилини. Учасники тесту були проінформовані про хід і цілі

дослідження та підписали згоду на обробку персональних даних та їх подальше використання в наукових цілях. Також було зібрано додаткові дані, такі як: вік, стать, зріст, вага (для обрахунку індексу маси тіла), наявність захворювань ендокринної та серцево-судинної системи, досвід зі сприйняття сигналів повітряної тривоги в реальних умовах, для знаходження додаткових кореляцій. Сигнал повітряної тривоги було обрано, оскільки він є етично прийнятним стресовим чинником та актуальним для дослідження в сучасних умовах нашої країни. Крім того це дало змогу аналізувати реакції без необхідності навмисного заподіяння шкоди учасникам експерименту. В досліджуваній групі було 30 учасників, віком від 20 до 30 років, серед яких 15 чоловіків та 15 жінок.

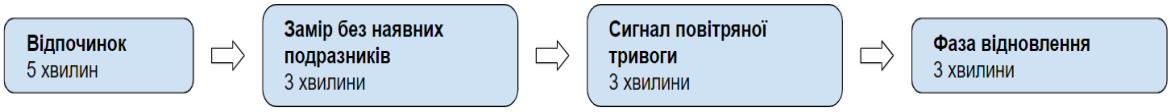


Рисунок 3. Протокол вимірювання

РЕЗУЛЬТАТИ

Отримані результати було проаналізовано за допомогою методу варіабельності серцевого ритму (ВСР). ВСР - це оцінка електричної активності серця [2]. Частота серцевих скорочень змінюється відповідно до фізичних навантажень, емоційного стану та стресу, відображаючи адаптивні реакції організму. Варіабельність серцевого ритму є індикатором того, як серце реагує на різні подразники. Зміни у ВСР можуть слугувати ранніми попереджувальними сигналами про ризик серцевих захворювань, що робить їх важливим інструментом для моніторингу здоров'я серця. Було обраховано дві метрики у часовій області ВСР - SDNN, RMSSD. SDNN - стандартне відхилення інтервалів скорочення серця. RMSSD - середнє квадратичне з послідовних різниць інтервалів скорочення серця. Пізніше отримані дані порівнювались з діапазонами норм цих складових [3].

На «Рисунку 4» зображені 3 секторні графіки розмаху та асиметрії параметру SDNN для учасників тесту. На першому графіку зображені результати для фази «Релаксу», на другому – під час наявного чинника стресу, та на третьому – під час першої подачі сигналу повітряної тривоги.

Після обробки результатів, учасників можна умовно поділити на 3 групи:

1. У яких значення параметрів SDNN, RMSSD залишалися у діапазоні норми протягом всього часу, або ж були поза діапазоном, не змінюючись – 70 %;
2. У яких параметри були в діапазоні норми, а за наявності стресу вийшли за діапазон норми – 23,3 %;
3. У яких параметри були за діапазонами норми з відсутнім стресом, а пізніше за наявності стресу потрапили в діапазон норми – 6,6 %.

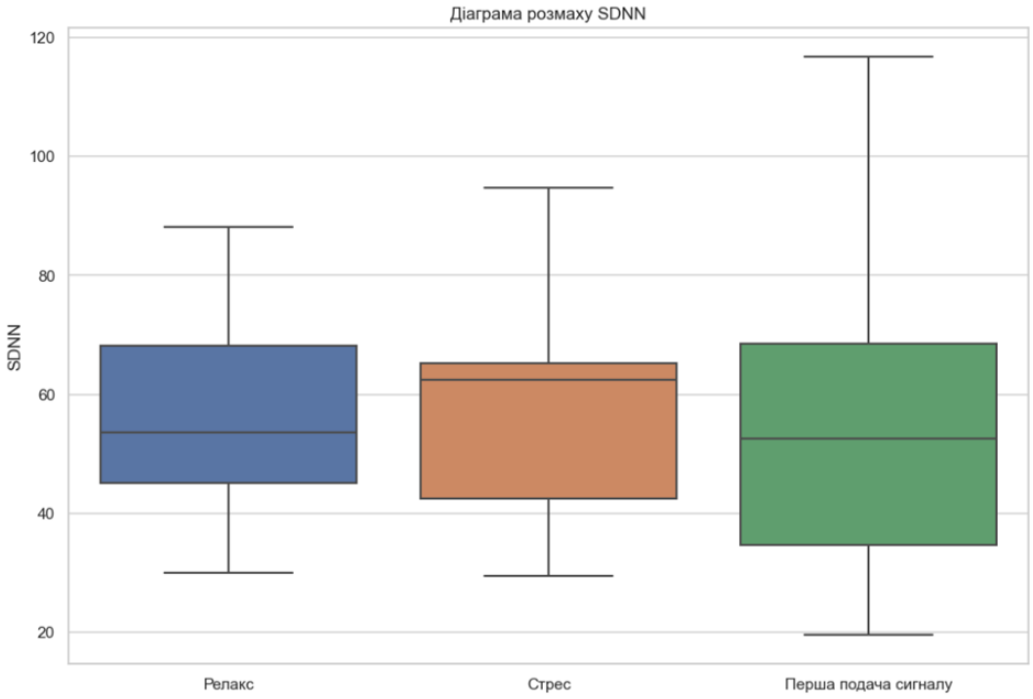


Рисунок 4. Діаграма розмаху SDNN

ВИСНОВОК

У процесі роботи було досліджено метод виявлення стану стресу за допомогою технології фотоплетизмографії. Результати вказують на значні відмінності в показниках SDNN і RMSSD, залежно від стану особи, що підтверджує важливість цих показників для моніторингу здоров'я серця та виявлення стресових реакцій.

Метод варіабельності серцевого ритму дає можливість отримати різні показники, які також показують співвідношення функціонування симпатичної та парасимпатичної нервової системи. В майбутньому планується провести аналіз і інших показників задля знаходження більшого числа кореляцій із використанням методів машинного навчання.

Виконане дослідження може слугувати основою для розроблення нових підходів до розпізнавання та управління стресом. Отримані результати не лише розширюють розуміння механізмів реакції на стрес, а й сприяють розвитку персоналізованих підходів до здоров'я людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Wang C., Li Z., Wei X. Monitoring heart and respiratory rates at radial artery based on PPG. *Optik*. 2013. Т. 124, № 19. С. 3954--3956.

[2] ChuDuc H., NguyenPhan K., NguyenViet D. A review of heart rate variability and its applications. *APCBEE procedia*. 2013. Т. 7. С. 80-85.

[3] Shaffer F., Ginsberg J. P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in public health*. 2017. Т. 5. С. 290215.

Наук. керівники – д.т.н., проф. Куц Ю.В., Dr.Sc., prof. Nechyporenko Alina S., PhD, Alieksieieva Viktoriia

УДК 681.2:531.7

Н.А. Тимець, студент гр. ПК-01, проф. Протасов А.Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРИЛАД ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

Анотація. У цій доповіді представлено чотириканальний радіаційний пірометр, призначений для точного моніторингу температури в обмотці кабелю на всіх етапах виробництва. Завдяки передовим технологіям інфрачервоного вимірювання, прилад забезпечує високу точність та ефективність контролю виробничих процесів, що веде до значного покращення якості кабельної продукції.

Ключові слова: інфрачервоний пірометр, мультиканальне вимірювання, термальний моніторинг, автоматизація виробництва кабелів, контроль якості, оптимізація виробництва.

ВСТУП

Сучасне виробництво кабелів вимагає ретельного контролю температурних режимів, особливо під час термічної обробки обмотки. Нестабільність температури може призвести до значних відхилень від стандартів якості готової продукції, що негативно впливає на її експлуатаційні характеристики та безпеку. Чотириканальний радіаційний пірометр, розроблений в рамках цього проекту, вирішує цю проблему, забезпечуючи одночасний моніторинг декількох зон виробництва, що значно підвищує точність та ефективність контролю.

Радіаційне вимірювання температури є широко використовуваним методом у промисловості завдяки його безконтактному характеру та високій швидкості зчитування. Проте, більшість комерційно доступних пірометрів мають лише один канал, що обмежує їх застосування у складних виробничих процесах, де необхідний одночасний моніторинг декількох зон.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ

Fluke 568 - це професійний інфрачервоний термометр, розроблений для жорстких умов експлуатації. Він має широкий діапазон вимірювання температури від -40°C до +500°C, а також високу точність ±1%. Fluke 568 оснащений лазерним прицілом для точного наведення на об'єкт та РК-дисплеєм з підсвіткою для зручного зчитування даних навіть у темряві.

Переваги:

- Висока точність та надійність
- Широкий діапазон вимірювання
- Лазерний приціл та підсвічування дисплея
- Компактний та ергономічний дизайн
- Стійкість до ударів та вібрацій
- Гарантія 2 роки від Fluke

Недоліки:

- Відносно висока ціна
- Немає функції запису даних

Extech 42515-T - це доступний інфрачервоний термометр, який підходить для домашнього та напівпрофесійного використання. Він має діапазон вимірювання температури від -50°C до +350°C та точність ±2%. Extech 42515-T оснащений лазерним прицілом та підсвіткою дисплея, а також функцією

автоматичного вимкнення для економії заряду батареї.

Переваги:

- Доступна ціна
- Широкий діапазон вимірювання
- Лазерний приціл та підсвічування дисплея
- Функція автоматичного вимкнення
- Компактний та легкий

Недоліки:

- Менш точний, ніж Fluke 568
- Немає функції запису даних

Testo 835-T1 - це професійний інфрачервоний термометр з розширеними функціональними можливостями. Він має діапазон вимірювання температури від -50°C до +500°C та точність ±1%. Testo 835-T1 оснащений лазерним прицілом, підсвічуванням дисплея та функцією запису даних на ПК.

Переваги:

- Висока точність та надійність
- Широкий діапазон вимірювання
- Лазерний приціл та підсвічування дисплея
- Функція запису даних на ПК
- Можливість підключення до смартфона через Bluetooth
- Стійкість до ударів та вібрацій

Недоліки:

- Висока ціна
- Складніший у використанні, ніж інші моделі

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Ринкові пірометри часто обмежені одним каналом вимірювання, що не дозволяє одночасний моніторинг декількох зон виробництва, що необхідно для високоякісного контролю в складних виробничих процесах.

МЕТА РОЗРОБКИ

Розробка нового чотириканального радіаційного пірометра, здатного одночасно контролювати температуру в кількох зонах, що значно підвищить точність та ефективність контролю.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Технічні характеристики та компоненти приладу:

- *Інфрачервоні детектори:* Чотири високоточні інфрачервоні детектори для одночасного вимірювання температури в різних зонах виробництва.
- *Мікропроцесор:* Потужний мікропроцесор для обробки сигналів з детекторів, реалізації алгоритмів контролю та керування системою.
- *Інтерфейс користувача:* Зручний інтерфейс користувача для візуалізації інформації про стан температур у вигляді цифрових показників та графіків.

- Програмне забезпечення: Спеціальне програмне забезпечення для налаштування параметрів пірометра, аналізу даних та формування звітів.

Схема приладу для автоматизованого контролю температури:

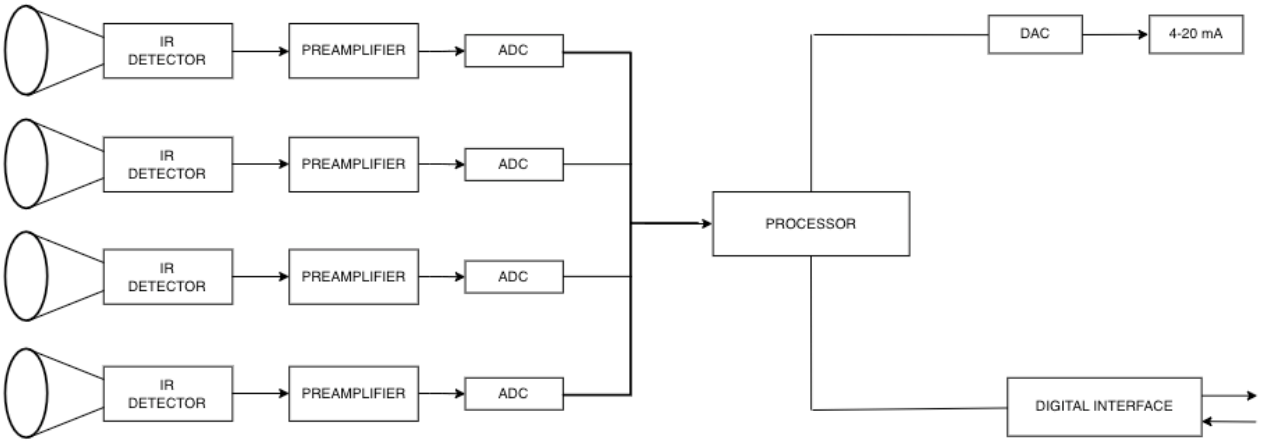


Рисунок 1. Схема приладу для автоматизованого контролю температури

Переваги розробленого чотириканального пірометра:

- *Одночасний моніторинг декількох зон:* Забезпечує комплексний контроль температурних режимів на всіх етапах виробництва, що гарантує відповідність продукції стандартам якості.
- *Висока точність:* Гарантує надійність та достовірність даних про температуру, що мінімізує ризик браку та небезпечних ситуацій.
- *Швидкість зчитування:* Дозволяє оперативно реагувати на зміни температури та коригувати виробничі параметри.
- *Ефективність контролю:* Оптимізує виробничі процеси, економить ресурси та зменшує час простою.
- *Простота використання:* Зручний інтерфейс та програмне забезпечення роблять роботу з пірометром доступною для персоналу з різним рівнем підготовки.

Важливі моменти:

- *Вплив на якість продукції:* Чотириканальний пірометр значно підвищує якість кабельної продукції, завдяки точному контролю температурних режимів на всіх етапах виробництва. Це веде до зменшення браку, покращення експлуатаційних характеристик та відповідності стандартам безпеки.
- *Зменшення браку та виробничих витрат:* Забезпечення стабільних температурних режимів мінімізує кількість бракованої продукції, що в свою чергу веде до зниження виробничих витрат та економії матеріалів.
- *Підвищення безпеки виробництва:* Точний контроль температури запобігає перегріванню, яке може призвести до пошкодження

обладнання, займання або інших небезпечних ситуацій.

- Інтеграція з системами автоматизації: Чотириканальний пірометр може бути інтегрований з автоматизованими системами управління виробництвом для забезпечення оперативного реагування на зміни температури та автоматичного регулювання виробничих процесів.
- *Перспективи розвитку:* Розробка має потенціал для подальшого вдосконалення. Можливе збільшення кількості каналів вимірювання, розширення діапазону робочих температур, покращення точності та швидкості зчитування, а також додавання функцій дистанційного моніторингу та аналізу даних.

ВИСНОВОК

Розроблений чотириканальний радіаційний пірометр є інноваційним рішенням для ефективного контролю температури обмотки кабелю під час виробництва. Завдяки одночасному моніторингу декількох зон, високій точності та швидкості зчитування, прилад дозволяє значно підвищити якість кабельної продукції, оптимізувати виробничі процеси, знизити витрати та підвищити безпеку виробництва. Впровадження цього рішення сприятиме підвищенню конкурентоздатності вітчизняних виробників кабельної продукції на світовому ринку.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ:

[1] Wikipedia, the free encyclopedia. Infrared thermometer - Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_thermometer. (дата звернення: 06.05.2017)
[2] ScienceDiret. the free encyclopedia. Infrared thermometer, URL: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/infrared-thermometer. (дата звернення: 06.05.2017)
[3] Omega Engineering. the free encyclopedia. Infrared thermometer, URL: https://www.omega.com/en-us/resources/infrared-thermometer. (дата звернення: 06.05.2017)

УДК 681.5:004.73, 550.3

Г.Р. Тиненік, студент гр. ПК-01, доц. Лисенко Ю.Ю.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРИСТРІЙ ВИЯВЛЕННЯ ЗЕМЛЕТРУСУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ

Анотація. Землетруси є серйозною загрозою для людського життя та інфраструктури. У зв'язку з постійним ризиком землетрусів у багатьох регіонах світу, розробка пристроїв для їх виявлення та застосування автоматичних заходів безпеки набуває великого значення. У цій статті представлено огляд розробки автономного пристрою з недорогим датчиком для виявлення землетрусів, який може бути інтегрований у смартфон. Запропонований підхід базується на використанні простої техніки машинного навчання для моделювання землетрусів на основі щоденних рухів та записів шуму у будівлях. Продемонстровано результати попереднього аналізу складових пристрою та алгоритму опрацювання сигналів та інформації.

Ключові слова: землетрус; акселерометр; IoT; машинне навчання

ВСТУП

Землетруси є однією з найстрашніших природних катастроф, що призводять до людських втрат, руйнувань та економічних збитків. У світі, де міста щільно забудовані та інфраструктура мегаполісів є сучасною, ризик землетрусів постійно існує, підкреслюючи необхідність розробки систем виявлення та захисту від цих стихій. Розробка ефективних пристроїв може значно зменшити наслідки цих природних бід. Проактивні системи виявлення землетрусів, які автоматично включають захисні механізми, такі як звукові сигнали та вимикання електроенергії, можуть забезпечити безпеку життя та майна. Дослідження в цій області важливі для забезпечення безпеки громадськості та зменшення ризику землетрусів.

Стаття присвячена розробці автономного пристрою з дешевим акселерометром для виявлення землетрусів, який може бути інтегрований у смартфони. Цей підхід потребує мінімальних обчислювальних ресурсів та не залежить від людської участі. Датчики прискорення, які використовуються, оцінюються на струсовому столі змодельованими землетрусами.[1] Результати показали успішне виявлення землетрусів та вчасну передачу попереджень, що підвищує реагування на небезпеку. Крім того, технологія "інтернету речей" (IoT), яка широко використовується в будівництві, може бути застосована і в пристроях виявлення землетрусів, завдяки своїй простоті, обчислювальним можливостям та економічній ефективності.

Виявлення сейсмічних подій є складною задачею через відсутність високоточного зондування та неефективність класифікації сигналів. Автори дослідження [2] пропонують датчик IoT з ім'ям BLESeis для інтелектуального виявлення землетрусів. Цей пристрій використовує акселерометр MEMS для точного визначення вібрацій та алгоритм виявлення землетрусів, який аналізує часову та частотну області сигналу для класифікації. При виявленні землетрусу маяк BLE відправляє сповіщення, а ефективність системи підтверджується чисельним моделюванням та експериментами.

СХОЖІ РОЗРОБКИ ТА ПОВ’ЯЗАНІ РОБОТИ

У сейсмології за останні роки поширені дешеві датчики прискорення та смартфони для виявлення землетрусів. Програма MyShake перетворює телефони

на датчики, що надсилають сейсмічні дані на сервер. Проект NetQuakes використовував дорогі датчики MEMS у будівлях для моніторингу землетрусів. Аналогічні проекти потребують додаткового обладнання. Комбінуються різні методи виявлення, використовуючи як машинне навчання, так і традиційний алгоритм STA/LTA, щоб зменшити кількість помилкових спрацьовувань. Дана система є вартісно-ефективною та надійною. [1]

BLESeis - це система, що виявляє землетруси, використовуючи датчики MEMS та технологію Bluetooth Low Energy (BLE). Вона застосовує тригер STA/LTA та аналіз вібрацій у часовій та частотній областях для точного виявлення. Надсилає маяки з інформацією про місцезнаходження та інтенсивність землетрусу. Має обмеження у дальності сповіщень через BLE та потребує перевизначення параметрів алгоритму. [2]

Існує інша «розумна» система запобігання стихійним лихам на базі IoT, яка автоматично отримує дані про землетруси від Central Weather Bureau (CWB) та ще багато схожих проектів з використанням IoT.

ОГЛЯД ПРИСТРОЮ ОПОВІЩЕННЯ ПРО ЗЕМЛЕТРУС

Запропоновану систему виявлення та реагування на землетруси приведено на рис. 1. Передбачається, що пристрій оповіщення функціонує самостійно, без взаємодії з іншими пристроями чи серверами для подальшої обробки [1, 3-5]

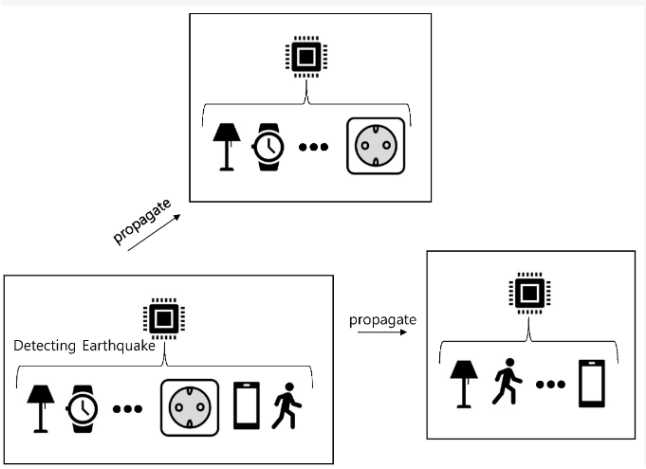


Рисунок 1. Огляд системи

При виборі датчика прискорення слід керуватися їхніми характеристиками, зокрема точністю та надійністю. У цій роботі розглядаються чотири датчики: ADXL355, LIS3DHH, MPU9250 і MMA8452. ADXL355 та LIS3DHH мають високу точність, але високу вартість, що може ускладнити використання в системах з обмеженим бюджетом. MPU9250 та MMA8452, хоча менш точні, але більш доступні, що робить їх привабливими для багатьох застосувань. [1, 3-6].

Запропонований пристрій реалізує алгоритм виявлення землетрусів за допомогою штучної нейронної мережі (Artificial Neural Network), простої техніки машинного навчання, яка широко використовується протягом останніх кількох десятиліть. Модель штучної нейронної мережі (ШНМ) має три нейрони у вхідному шарі, п'ять нейронів у прихованому шарі та один нейрон у вихідному шарі, як показано на рис. 2 [1, 4-6].

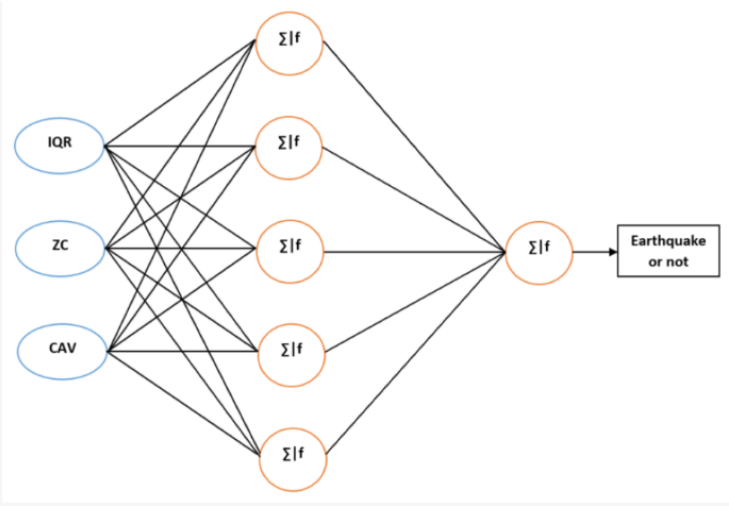


Рисунок 2. Модель штучної нейронної мережі (ШНМ) з трьома входами з одним прихованим шаром

Алгоритм виявлення землетрусів складається з чотирьох етапів: вилучення ознак, попередня обробка, навчання та тестування моделі машинного навчання. Для навчання моделі використовано нейронну мережу зворотного поширення та стохастичним градієнтним розв'язувачем спуску [6]. У цій моделі для прихованого та вихідного шарів використовується логістична сигмоїдальна функція активації: [1, 4-6]

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

Для виявлення землетрусів використовують три характеристики: міжквартильний діапазон (IQR), нульова швидкість перетину (ZC) і кумулятивна абсолютна швидкість (CAV). IQR визначає амплітуду від 25% до 75% від суми векторів прискорення, ZC показує кількість разів, коли сигнал змінює свій знак, а CAV є кумулятивною мірою амплітуди векторної суми трикомпонентного прискорення. Обчислення цих характеристик проводиться за допомогою 2-секундного розсувного вікна з перекриттям 1 секунда на даних прискорення. Використання таких функцій дозволяє визначати ключові параметри, що вказують на наявність землетрусу, та забезпечує точний аналіз даних для ефективної реакції на них. [1, 2]

Оскільки ефективність моделі машинного навчання в значній мірі залежить від набору даних, який використовується для навчання та тестування, необхідно провести попередню обробку даних. Для цього ми застосовуємо збалансування та масштабування набору даних. Оскільки на етапі навчання використовуються як дані про землетруси, так і дані про відсутність землетрусів, які можуть мати різні розміри, ми застосовуємо алгоритм кластеризації K-середнього [7]. Для цього групуємо точки даних, не пов'язаних з землетрусами, у m кластерів, де m - загальна кількість зразків даних про землетруси. Центроїд кожного кластера розглядається як зразок, що не вказує на землетрус. Це сприяє збалансованості даних та зменшує обчислювальне навантаження під час навчання моделі [1, 7].

Другим кроком попередньої обробки є масштабування ознак для нормалізації набору даних та прискорення навчання моделі. Ми масштабуємо всі ознаки до діапазону від 0 до 1, використовуючи наступний підхід: ознака x

масштабується за формулою:

$$x_{scaled} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (2)$$

де Xmin, Xmax - це мінімальне і максимальне значення ознаки x відповідно. Це допомагає унормувати значення ознак та забезпечує ефективніше навчання та прогнозування моделі [1, 7].

ВИСНОВКИ

В даній статті проведено огляд існуючих засобів та висвітлено питання розробки нового автономного пристрою з датчиком прискорення для виявлення землетрусів, який може бути інтегровано до смартфону. Запропоновано використання техніки машинного навчання для моделювання та передбачення землетрусів на основі щоденних рухів та записів шуму у будівлях. Розглянуто застосування технології IoT, яка має перспективи у виявленні землетрусів, завдяки простоті встановлення, обчислювальним можливостям та економічній ефективності. У подальшій роботі планується модернізація та навчання моделі з різноманітними даними та розвиток системи для використання в різних сценаріях з метою визначення способів підвищення надійності запропонованої системи виявлення сейсмічної активності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Lee, Jangsoo, Irshad Khan, Seonhwa Choi, and Young-Woo Kwon. 2019. "A Smart IoT Device for Detecting and Responding to Earthquakes" Electronics 8, no. 12: 1546. https://doi.org/10.3390/electronics8121546

[2] Won, Jongbin, Junyoung Park, Jong-Woong Park, and In-Ho Kim. 2020. "BLESeis: Low-Cost IoT Sensor for Smart Earthquake Detection and Notification" Sensors 20, no. 10: 2963. https://doi.org/10.3390/s20102963

[3] Bishop, C. Neural Networks for Pattern Recognition; Oxford University Press: New York, NY, USA, 1996.

[4] Hecht-Nielsen, Robert. "Theory of the backpropagation neural network." Neural networks for perception. Academic Press, 1992. 65-93.

[5] Haykin, Simon, and Neural Network. "A comprehensive foundation." Neural networks 2.2004 (2004): 41.

[6] Bottou, Léon. Large-scale machine learning with stochastic gradient descent. In: Proceedings of COMPSTAT'2010: 19th International Conference on Computational StatisticsParis France, August 22-27, 2010 Keynote, Invited and Contributed Papers. Physica-Verlag HD, 2010. p. 177-186.

[7] Hartigan, John A., and Manchek A. Wong. "Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm." Journal of the royal statistical society. series c (applied statistics) 28.1 (1979): 100-108.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Лисенко Ю.Ю.

УДК 620.179.14

О. Л. Чернишов, студент гр. ПК-01
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИХРОСТРУМОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НА БАЗІ GMR

Анотація. Розглянуто існуючі види датчиків для вихрострумових дефектоскопів та їх призначення і застосування. Проаналізовано використання сенсора на основі GMR як чутливого елемента для вихрострумових перетворювачів.

***Ключові слова*:** вихростумовий неруйнівний контроль, вихрострумовий дефектоскоп, перетворювач GMR.

ВСТУП

Вихрострумовий неруйнівний контроль (НК), який застосовується у різних галузях промисловості і транспорту, є одним з найефективніших методів НК для виявлення поверхневих та приповерхневих дефектів у виборах з металів та сплавів. Вихрострумовий контроль – це вид НК, що ґрунтується на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, які створюються в об'єкті контролю (ОК) зовнішнім збуджуючим полем [1]. Особливість вихрострумового НК полягає у тому, що його можна проводити без механічного контакту перетворювача з ОК, крім того цей вид НК має високу вірогідність виявлення дефектів, що особливо важливо для створення автоматизованих систем НК.

Існує багато різноманітних за призначенням та конструктивним виконанням датчиків для вихрострумового НК, до прикладу, датчики для виявлення поверхневих дефектів з різними чутливостями, для виявлення приповерхневих дефектів, ротаційні перетворювачі для виявлення дефектів у отворах, внутрішні і зовнішні датчики для виявлення дефектів у металевих трубах малого радіусу та багато інших.

В галузі вихрострумового НК продовжується пошук більш ефективних вихрострумових перетворювачів для виявлення дефектів у провідних ОК. Одним з перспективних напрямів таких досліджень є створення датчиків на основі поєднання можливостей GMR сенсорів та вихрострумових перетворювачів, що створюють в ОК обертове електромагнітне поле.

ЗБУДЖУВАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ

В ролі збуджувального елемента даного вихрострумового перетворювача (ВСП) виступають дві ортогоральні котушки індуктивності намотані на каркас у формі куба [2]. Одна зі сторін куба з розташованими навхрест навоями двох котушок – робоча поверхня, встановлюється безпосередньо на поверхню ОК. Котушки ВСП живляться квадратурними гармонічними струмами. В робочій області перетворювача виникає обертове електромагнітне поле. Вектори електричної і магнітної напруженості такого поля обертаються у площині паралельній робочій поверні ВСП. При розташуванні в полі перетворювача електропровідного ОК в останньому наводяться обертові вихрові струми. Особливістю такого збуджувального елемента є те, що за відсутності тріщин чи інших неоднорідностей ОК і поле збудження, і поле вихрових струмів мають лише тангенціальні складові, тому у вимірювальному елементі, площина якого

розташована паралельно поверхні ОК, не наводиться електрорушійна сила (напруга холостого ходу дорівнює нулю). Поява в полі ВСП дефекту типу тріщина веде до виникнення незкомпенсованої нормальної складової поля вихрових струмів, яка реєструється вимірювальним елементом. Аналіз роботи такого перетворювача з чутливим елементом у вигляді накладної катушки круглої пласкої форми виконаний в працях [3, 4].

Використання вихрострумових перетворювачів з обертовим електромагнітним полем має певні переваги порівняно з класичними. До найбільш суттєвих відмінностей належать такі:

1. Значно зменшена залежність вихідних сигналів від зазору між перетворювачем та ОК.

2. Відсутність у вихідному сигналі вимірювального елементу напруги холостого ходу, що сприяє підвищенню чутливості до дефектів.

3. Незалежність чутливості ВСП до дефектів (тріщин) від їх взаємної просторової орієнтації.

4. Можливість оцінки кута просторової орієнтації тріщин.

Серед обмежень щодо використання вихрострумових перетворювачів з обертовим електромагнітним полем слід вказати на їх значні габарити, що передбачає виконання контролю ОК значних розмірів з пласкою поверхнею.

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ

GMR перетворювач – це пристрій, в якому при прикладенні зовнішнього магнітного поля виникає ефект гігантської магніторезистивності. Цей ефект виникає при чергуванні у перетворювачі шарів феромагнітних і немагнітних провідників [4,5]. Для немагнітного шару зазвичай використовують мідь. За звичайних умов мідь – хороший провідник, але коли її товщина визначається розмірами лише декілька атомів, розсіювання електронів призводить до значного підвищення опору міді. При застосуванні магнітного поля магнітні моменти феромагнітних шарів можуть вирівнюватись. Це вирівнювання впливає на те, наскільки легко електрони можуть протікати через матеріал, що призводить до зміни опору пристрою.

Принцип роботи GMR перетворювачів у електромагнітному НК полягає в наступному:

1. До поверхні виробу прикладається електромагнітне поле.

2. Це поле спотворюється дефектами виробу.

3. На GMR сенсори, розташовані на поверхні виробу, впливає магнітне поле створене вихровими струмами в ОК та змінює опір сенсора.

4. Зміна опору сенсора використовується для визначення розміру та розташування дефектів.

Дефекти в провідних виробах створюють локальні зміни магнітної складової поля. Ці зміни впливають на опір GMR сенсорів. Вимірюючи напругу на змінному опорі можна визначити розмір і розташування дефектів.

ВСП з пертворювачами на основі ефекту GMR мають ряд переваг порівняно з іншими типами датчиків, що використовуються в електромагнітному НК:

• висока чутливість до дефектів;

• висока вірогідність виявлення дефектів типу несуцільності матеріалу ОК;
• можливість оцінювання розміряв дефектів і їх розташування в ОК;
• відносно невисока вартість.

З метою лінеаризації функції перетворення в GMR перетворювачах застосовують їх підмагнічування постійними магнітами.

ВИСНОВОК

Запропонований в роботі ВСП, що поєднує можливості GMR сенсорів та вихрострумових перетворювачів з обертовим електромагнітним полем, може знайти застосування в автоматизованих системах виявлення дефектів методами вихрострумового НК. Це зумовлено тим, що обертові магнітні поля збурюючого елемента ВСП дають змогу виявляти такі дефекти як тріщини за їх довільної просторової орієнтації. Як наслідок цього знижується ризик пропуску дефекта через його непередбачувану орієтацію відносно ВСП і підвищується швидкість сканування поверхні. Це дає змогу говорити про збільшення в цілому ефективності вихрострумового НК. Внаслідок високої чутливості GMR сенсора стає можливим виявляти поверхневі та підповерхневі дефекти типу тріщин та порожнин малих розмірів із заглибленням від поверхні ОК в матеріал до 1…4 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Білокур І. П. «Основи дефектоскопії». – К.: Азимут-Україна, 2004. – 496 с.
[2] Hiroshi Hoshikawa, Kiyoshi Koyama. A New Eddy Current Probe Using Uniform Rotating Eddy Currents. – J. Materials Evaluation, 1998, p. 85-88.
[3] Куц Ю.В. Аналіз роботи накладного вихрострумового перетворювача з обертовим полем /Ю.В. Куц, В.В. Лисенко, О.А. Бекеш //Технічна електродинаміка. – 2001. –№3. – С.70-73.
[4] Colossal Magnetoresistance, Charge Ordering and Related Properties of Manganese Oxides / Ed. by C. N. R. Rao and B. Raveau. – World Scientfic Publishing Co, 1998. – P. 2. – 356 p.
[5] Hirota, E., Sakakima, H., Inomata, K. Giant Magneto-Resistance Devices. – Springer, 2002. – P. 30. – 177 p. – ISBN 978-3-540-41819-1.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Куц Ю.В.

UDC 537.85:623.746.2

V.S. Yakotiuk, student of gr. PK-01, Doctor of Philosophy Momot A.S.
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

UAV-BASED MAGNETOMETRIC MODULE FOR DETECTING EXPLOSIVE OBJECTS

Abstract. The urgency of the problem of large-scale mining of the territory of Ukraine is considered. The existing methods of searching for explosive objects were considered. Based on the consideration, the magnetometric search was determined to be the most effective method. A block diagram of a sensor connected to a UAV was created. An equation for determining the location of explosive objects was presented.

Keywords: ***explosive devices, detection, magnetometers, UAVs***

INTRODUCTION

Explosive Ordnance Disposal systems are critical to security in many contexts. They help protect civilians from the dangers of unexploded objects (UXO), reduce the risk of terrorist attacks in public places and transport, and are essential for de-mining areas after military conflicts or disasters. The development of new technologies, such as robotics, drones and artificial intelligence, is improving these systems, making them more efficient and reliable, which ultimately increases security.

For Ukraine, this is of particular importance due to the lingering effects of conflicts and the occupation of certain regions, which have left a large number of explosive ordnance and mines. Clearing such areas is a complex and dangerous process, and advanced explosive ordnance detection systems can greatly facilitate this task, increasing efficiency and safety. The use of technologies such as drones and artificial intelligence can provide fast and accurate mine detection, reducing the risk to deminers and speeding up the recovery process [1].

Thus, the development and implementation of modern explosive ordnance detection systems is an important step towards restoring security and stability in Ukraine. This will allow for the safe return of territories to civilian use, ensure safe living conditions and contribute to the country's overall post-conflict recovery.

OVERVIEW OF EXISTING METHODS

There are several ways to search for explosive objects: using thermal imaging devices, visual methods, ground penetrating radar, magnetometers, radar and laser systems. Each of these methods has its advantages and disadvantages, and their use depends on specific conditions and tasks [2].

The most popular methods are thermal imaging, magnetometric and visual. The thermal imaging method allows detecting temperature changes that may be associated with explosive objects or their detonation. It is often used during night operations or in conditions of limited visibility [3]. The magnetometric method, based on the detection of magnetic anomalies, is effective for detecting metal explosive objects. The visual method involves the use of various cameras and optical devices for visual inspection of suspicious objects.

Ground Penetrating Radar, although an effective tool for finding explosive ordnance, is less commonly used due to its high cost and complexity. This method involves sending radio waves into the ground and analysing the reflected signal to detect objects.

Radar and laser explosive detection methods are relatively new and have not yet been widely used. Radar systems can detect objects at a great distance, while laser systems use light beams to detect objects or calculate the distance to them [4].

Thus, the choice of explosive ordnance detection method depends on the specific task, location and available budget. Popular methods such as thermal imagers, magnetometers and visual systems are more common, while ground penetrating radar, radar and laser methods have limited use due to high cost or technical difficulties.

MAGNETOMETRIC SEARCH FOR UXOS

Having reviewed all the methods of finding UXOs, we can conclude that each method has its own peculiarities and disadvantages. The most commonly used method is magnetometry. This method is notable for its efficiency, especially when searching for metal objects such as mines or ammunition. Magnetometers can detect even small changes in the magnetic field, which allows them to determine the exact location of underground or hidden objects [5].

Among magnetometers, there are optical, induction and resistive magnetometers, each of which has its own characteristics. Optical magnetometers use light and quantum effects, such as the Faraday effect, to measure magnetic fields. They are very sensitive and are used in astronomy, biological research, and even to detect explosives. Induction magnetometers work on the principle of electromagnetic induction. They measure changes in the magnetic field by inducing an electric current in coils. They are often used in geophysics and archaeology. Resistive magnetometers are based on the change in resistance of materials when exposed to a magnetic field. These devices can detect small changes in the magnetic field and are used in a variety of industries, including electronics and explosive detection.

Determining the position of an UXO is a critical process that requires precision and attention to detail. To locate an UXO, magnetometers detect magnetic anomalies that may indicate the presence of metal objects. This is done by scanning the area in a specific order, most often along a grid or scan lines. Once the data is collected, a map of magnetic anomalies is created, which is used to identify potential IED locations. A possible block diagram of the described system is shown in Figure 1.

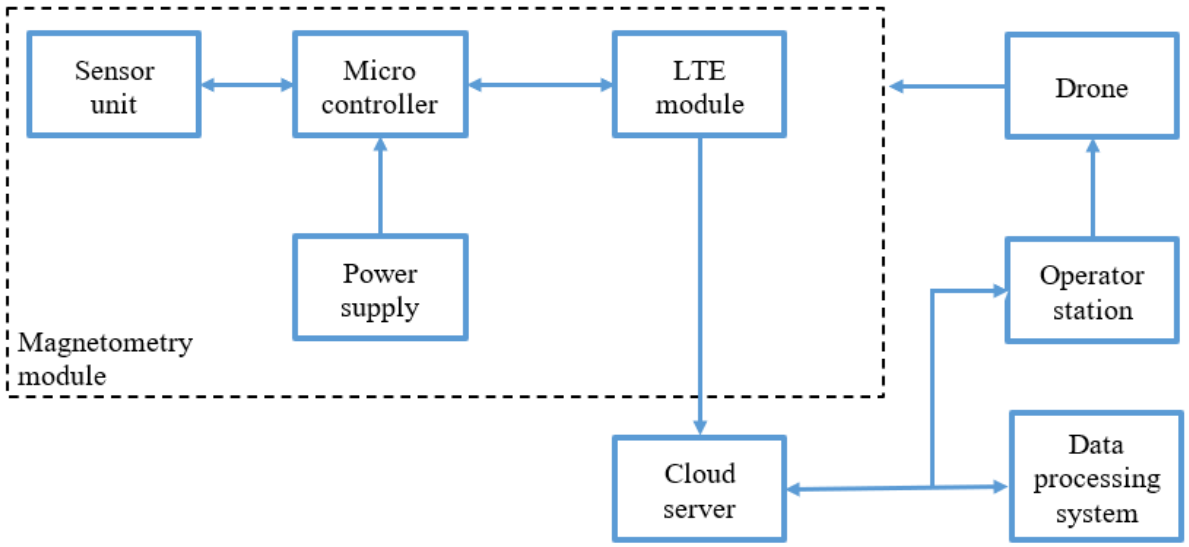


Figure 1. Block diagram of a magnetometer module on a drone

The magnetometric data can be analysed to determine the exact location, depth and orientation of the object. In addition, magnetometers can be easily placed on UAVs to speed up the procedure of scanning large areas [6].

Magnetometer module that connects to the drone. This module consists of a microcontroller that reads information from the sensors located in the sensor unit, all sensors and the microcontroller are powered by a power supply. Further, the information is transmitted via the LTE module to the cloud environment where it then enters the data processing system.

The following formula can be used to determine the position of the magnetic anomaly source relative to the magnetometer sensor, which will allow determining the exact location of the EMP:

$$\mathrm{r} = \mathrm{r} \cdot \mathrm{r}_0 = -\frac{3|\mathrm{B}|}{|\mathrm{G}|^2}\mathrm{G}, \quad (1)$$

where **r** is the bearing vector; r - is the magnitude of the bearing vector; r_0 - is a unit vector; G - magnetic induction gradient; |G| - is the magnitude of the magnetic induction gradient; |B| - Magnitude of magnetic induction. This method makes it possible to estimate the position of the magnetic anomaly created by the UXO and to build a map of the potential location of the UXO in the control area based on these data [7].

The minimum size and maximum depth of objects that can be detected by a magnetometer depend on its technical characteristics, design features and operating mode. The main limitations are related to the sensitivity of the detector, the strength of the magnetic field of objects, their size, shape and material.

The minimum size of an object that can be detected by a magnetometer depends on its sensitivity and noise filtering capabilities. For some measuring devices, this size can be very small, a few millimetres or less, while for others it can be larger.

The maximum depth of objects depends on the strength and range of the magnetic field generated by the magnetometer. This depth can vary from a few centimetres to several metres, depending on the type of device and its parameters.

Magnetometers used for explosive ordnance detection may have some limitations that affect their capabilities and effectiveness.

They may have limited sensitivity, which limits their ability to detect metal objects with low magnetic content or low magnetic permeability. Internal and external noise sources can affect the accuracy and reliability of the magnetometer's measurements, which can lead to false results or reduced sensitivity. Some magnetometers may have a limited depth of detection of metal objects, which can make it difficult to find large or deeply buried objects. In general, to use magnetometers effectively in explosive ordnance detection applications, these limitations must be taken into account and optimal measurement conditions must be maintained.

CONCLUSIONS

The magnetometric method is critical to the detection of explosive ordnance in a variety of contexts, as it allows the detection of ferromagnetic objects at great depths, with high resistance to electromagnetic interference. This makes it ideal for humanitarian demining and the search for buried mines and explosives. Due to their

high selectivity, the magnetometers reduce the risk of false alarms, allowing for more efficient clearance of areas.

However, magnetometers can be less mobile and more difficult to use than active metal detectors, making them less suitable for field conditions or rapid inspections. Active metal detectors, on the other hand, are easier to use and quicker to respond, making them useful for surface inspections, such as in controlled environments such as airports or checkpoints.

Therefore, the choice of UXO detection method depends on the specific needs and context. Magnetometric methods are suitable for deep demining and situations with a high risk of electromagnetic interference, while active metal detectors are more effective for quick checks on the surface or in controlled environments. It is important to understand the advantages and limitations of each method to ensure maximum safety and efficiency when searching for explosive ordnance.

REFERENCES

[1] Khalep VV, Samorok MG // II All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of the Department of Tactical and Special Training of the Command and Staff Faculty of the National Academy of the National Guard of Ukraine. 2020.

[2] Yakotiuk V.S. Analysis of the effectiveness of methods for searching for explosive objects using UAVs / V.S. Yakotiuk, A.S. Momot // Proceedings of the XIX All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Efficiency and Automation of Engineering Solutions in Instrumentation", 20-21 December 2023 - K.: PBF, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. - 2023. - pp. 373-376.

[3] Skladchykov I.O. Application of YOLOX deep learning model for automated object detection on thermograms / I. O. Skladchykov, A. S. Momot, R. M. Galagan, Bohdan G.A., Trotsiuk K.M. // Information Extraction and Process. - 2022. - No. 50. - pp. 69-77.

[4] Mosov, S. P. Directions of application of unmanned aerial vehicles for performing demining tasks: world experience / S. P. Mosov, V. Neroba // Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine Series: Military and Technical Sciences - 2019 - №1(79) - p.172-185

[5] Geodevice. Geophysical equipment for archaeology and search for echoes of war [Electronic resource] / geodevice // GEODEVICE. - 2024: https://geodevice.kz/main/archaeology/.

[6] Prospects for the development of technologies and increasing the level of autonomy of UAVs / O. Muravyov, I. Dovbysh, R. Galagan, H. Bogdan, A. Momot // Scientific Notes of Vernadsky Kyiv Polytechnic National University. Series: Technical Sciences. - 2023. - Vol. 34 (73), №2. - С. 199-205.

[7] Talesa B. How To Get Useful Data From Your Magnetometer [Electronic resource] / Bleything Talesa // DIGILENT//BLOG. - 2021: https://digilent.com/blog/how-to-get-useful-data-from-your-magnetometer/.

Наук. керівник – доктор філософії, ст. викл. Момот А.С.