МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

XIV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених

"ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ"

18-19 травня 2021 р.
м. Київ, Україна

Збірник праць конференції

КИЇВ 2021

УДК 621:537

Загальною метою конференції є спілкування студентів та аспірантів з питань перспективних розробок, нових рішень в приладобудуванні. Збірка містить 85 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. Перемоги, 37, корпус 1, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Приладобудівний факультет, 1720.

Рекомендовано до публікації на засіданні Організаційного комітету конференції та Вченої Ради ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №5/21 від 31.05.2021 р.).

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

Збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ”, 18-19 травня 2021р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 339 с.

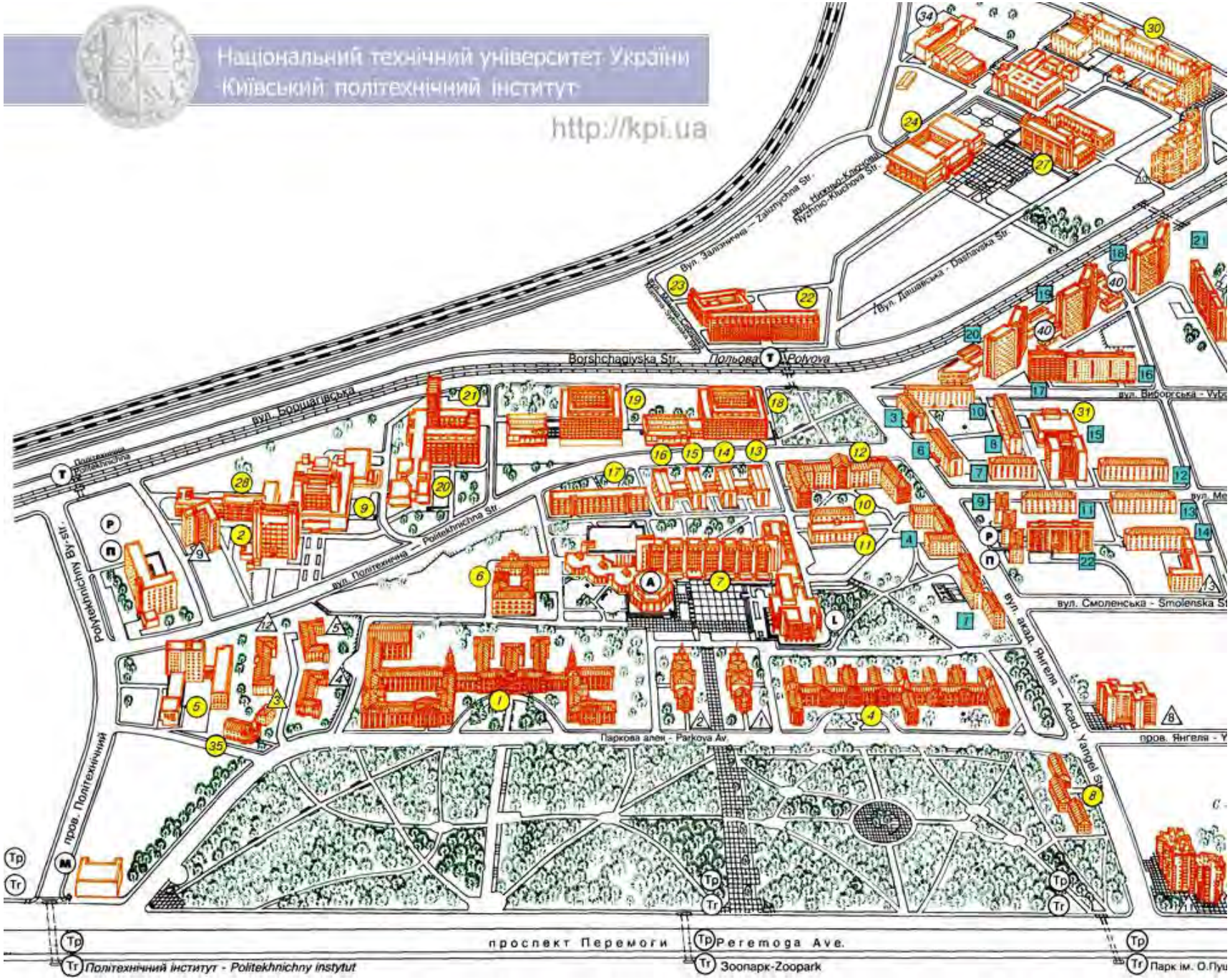
Видано на замовлення Приладобудівного факультету Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:

1. Тимчик Григорій Семенович — д.т.н., проф., декан ПБФ
2. Колобродов Валентин Георгійович — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри ООЕП
3. Бурау Надія Іванівна — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри ПСОН
4. Антонюк ВікторСтепанович — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри ВП
5. Киричук Юрій Володимирович — д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри ПБ
6. Протасов Анатолій Георгійович — д.п.н., проф., в.о.. кафедри ПСНК
7. Єременко Володимир Станіславович — д.т.н., проф., зав. кафедри ІВТ
8. Защепкіна Наталія Миколаївна — д.т.н., проф. кафедри ІВТ
9. 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. Булавко Н.О. — студент ПБФ, заст. голови комітету, секція №5.
3. Платов І.М. — студент ПБФ, секція №1.
4. Линник К.В. — студентка ПБФ, секція №2.
5. Соколова О.А. — студентка ПБФ, секція №3.
6. Некрасова О.О. — студентка ПБФ, секція №4.
7. Проскуренко Д.М. — студент ПБФ, секція №6.
8. Мельник А.В. — студент ПБФ, секція №7.
9. Невгод Д.А. — студентка ПБФ, секція №8.


Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
http://kpi.ua
вул. Борщагівська
Borshchahivska Str.
Польова
Polyova
вул. Політехнічна — Politekhnichna Str.
Політехнічний інститут
вул. Смоленська - Smolenska St.
вул. акад. Янгеля — Acad. Yangel St.
пров. Янгеля
Паркова алея - Parkova Av.
пров. Політехнічний
проспект Перемоги
Peremoga Ave.
Політехнічний інститут - Politekhnichny instytut
Зоопарк-Zoopark

З М І С Т

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

С.С. Афзель, студентка гр. ПГ-91мн, Д.О. Півторак, к.т.н.
МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОВІСНОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА 12

М.В. Бабенко, студент гр. ПГ-п81, к.т.н., доцент О.М. Павловський
АВТОМАТИЗОВАНИЙ КАРДІОМОНІТОР 16

Бідник Д.С., студент гр. ПГ-п81, к.т.н., доц. Цибульник С.О.
АРХІТЕКТУРА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ 19

О.С. Волошин, студент гр. ПГ-71
КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ДОЗУВАННЯ ВОДИ ДЛЯ СІЛЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПОТРЕБ 23

Є. Г. Граділь, студент гр. ПГ-71
РАДІОКЕРОВАНИЙ ЧОВЕН ДЛЯ РИБНОЇ ЛОВЛІ 27

Я.Ю. Гриценко, студент гр. ПГ-71
ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ КВАДРОКОПТЕРІВ 30

С.О. Гуриненко, аспірант гр. ПГ-01ф
ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СУЧАСНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ 34

Зубарський Д.О., студент гр. ПГ-01мп, к.т.н., доц. Цибульник С.О.
МЕНЕДЖЕРИ ПАРОЛІВ 38

А.О. Лантушенко, студентка гр. ПГ-71
КОРЕКЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КУТОМ КУРСУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК 42

Ляховецький О.О. студент гр ПГ-01мп
ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ 46

Музика Д.С., студент гр. ПГ-71, к.т.н., доцент Павловський О.М.
ОГЛЯД МЕТОДІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ МОДУЛЯ MPU-6050 50

Прозор Д.С., студент гр. ПГ-01мп
СИСТЕМИ ОРІЄНТАЦІЇ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ 55

Г.Ю. Строкач, студент гр. ПГ-01мн, к.т.н., Головач С.В.
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ БАЛАНСУВАННЯ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ КОРІОЛІСОВОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПА ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕДУР ВИМІРЮВАННЯ 58

Тищенко Б.Ю., студент гр. ПГ-п81
МІКРОМЕХАНІЧНІ АКСЕЛЕРОМЕТРИ ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ ВІБРАЦІЙНИХ ТА УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ 63

А.К. Федоров, студент гр. ПГ-01мп, к.т.н., доцент. Мироненко П.С.
КЕРОВАНА МОДЕЛЬ НЕСТІЙКОГО МАЯТНИКА 66

Д.О. Феоклістов, студент гр. ПГ-01мп
МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ГІРОСКОПІВ 69

А.В. Хворостян, В.І. Савенко, Є.М. Яковенко, студенти гр. ПГ-п91, к.т.н., доц. Заморський О.В.
ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЯК ВИКОНАВЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ 72

Шелемаха В.В., студент гр. ПГ-71, к.т.н., доц. Цибульник С.О.
ОГЛЯД КОЛЬОРОВИХ ШУМІВ 76

В.А. Яковенко, студент гр. ПГ-71
ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА MEMS-ГІРОСКОПУ RR-ТИПУ У РІХЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ 79

Секція 2. Оптичні та оптико-електронні прилади і системи

М.С. Білик, студент гр. ПО-71, к.т.н., доц. Кучеренко О.К.
ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ БАЗУВАННЯ СІТКИ У НАПІВАКТИВНІЙ СИСТЕМІ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 86

Васильчук Є.О., студент гр. ПО-71, д.т.н., проф. Микитенко В.І.
ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПОЛЯРИЗАТОРІВ ДЛЯ УФ-, ВИДИМОГО ТА ІЧ- ДІАПАЗОНІВ 91

Н.А. Волинко, студент гр. ДК-72,ст. викл. Антонюк О.І.
ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ КУЛІ 94

М. І. Доцик, студент гр. ПО-01мп, д.т.н., проф. Колобродов В. Г.
АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОСМУГОВИХ ПОЛЯРИЗАТОРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ 98

Ізатов Р.А., студент гр. ПО-71, к.т.н., доц. Сокуренко В.М.
АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ІНФРАЧЕРВОГОГО ОБ'ЄКТИВА ДЛЯ ТЕПЛОВІЗОРА 102

Ісаєв В.В., студент гр.ПО-71,к.т.н.,доцент Кучеренко О.К.
ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЛАЗЕРА В НАПІВАВТОМАТИЧНІЙ ЛАЗЕРНО-ПРОМЕНЕВІЙ СИСТЕМІ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ 105

Д.В. Корнєв, студент гр. ПО-71
ІНФРАЧЕРВОНИЙ ВІДЕОПОЛЯРИМЕТР 109

А.І. Крижній, студент гр. ПО-71
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СПОВІЩУВАЧІ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ 112

Ларін О.Є., студент гр. ПО-71, к.т.н., доц. Сокуренко В.М.
АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ ОКУЛЯРА З ВІДДАЛЕНОЮ ЗІНИЦЕЮ 115

Линник К.В., студентка гр. ПО-71, д.т.н., проф. Чиж І.Г.
ТЕПЛОВІЗІЙНИЙ ДАЛЕКОМІР НИТЯНОГО ТИПУ 119

Проскурін В.С., студент гр. ПО-71, д.т.н., доц. Сокуренко В.М.
АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИЛАДУ НІЧНОГО БАЧЕННЯ ЗІ ЗБІЛЬШЕНИМ КУТОМ ОГЛЯДУ 122

В.С. Танчук, Ю.О. Полякова, студенти гр. ПО-71, д.т.н., проф. В.Г. Колобродов
МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ МАЛИХ ЦІЛЕЙ В ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ НА ОСНОВІ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ 126

В.А. Тесленко, студент групи ПО-71, д.т.н., професор В.М. Боровицький
ПРИНЦИП РОБОТИ ПОДІЄ-БАЗОВОЇ КАМЕРИ В ПОРІВНЯННІ З ЗВИЧАЙНИМИ КАМЕРАМИ..... 130

Секція 3. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів

О.Л. Балякіна, студентка гр. ПБ-71, К.А. Романенко, студент гр. ПБ-71
ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ РІЗЦЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІБРОПЕРЕТВОРЮВАЧА ПІД ЧАС ОБРОБКИ ДЕТАЛІ 136

К.О. Бевз, студентка гр. ПБ-01мп
РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДОМАШНІХ ТВАРИН 140

В.А. Гайдай, студент гр. ПБ-71
ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ З ГУСЕНИЧНИМ РУШІЄМ ДЛЯ 3Д ПРИНТЕРУ..... 143

А.А. Змієвський, студент гр. ПБ-01мп, Є.Ю. Прищепенко, студент гр. ПБ-01мп, к.т.н., доц. В.В. Шевченко
СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ 147

О.К. Крутько, студент гр. ПБ-з01мп
АРХІТЕКТУРА ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА..... 150

О.В. Матошин, студент гр. ПБ-81
МЕТОДИКА ПОЗИЦІОНУВАННЯ 3D ПРИНТЕРА ІЗ КІНЕМАТИКОЮ «ДЕЛЬТА» 154

Панкратов Є.В. студент гр. Пб-71
ГІДРАВЛІЧНА ТРАНСМІСІЯ ВЕЛОСИПЕДУ 158

Д.М. Проскуренко, студент гр. ПБ-01мп
МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ВИРОБІВ НА РАННІХ ЕТАПАХ ПРОЕКТУВАННЯ..... 162

О.В. Скалозуб, студент гр. ПБ-01мп
АНАЛІЗ ПОХИБОК ЮСТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДИФРАКТОМЕТРА В КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІЙ СИСТЕМІ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СКЛА ОПТИЧНОГО СИЛІКАТНОГО 167

О.А. Соколова, студентка гр. ПБ-01мн
ПРО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ 171

О.В. Чигрін, студент гр. ПБ-71, доц. Стельмах Н.В.
РОЗРОБКА КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ МАНІПУЛЯТОРА БУДІВЕЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА 175

В.І. Юрковець, аспірант гр. ПБ-01ф, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ 179

В.А. Яригін, студент гр. ПБ-01мн
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ FDM 3D ДРУКУ 184

Секція 4. Прилади систем автоматизації

М.С. Бондар, студент гр. ПМ-71, к.т.н., доц. Нечай С.О.
ЛАЗЕРНИЙ МІКРОФОН 190

Є.О. Канівець, студент гр. ПМ-71
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПОЛИВУ КІМНАТНИХ РОСЛИН 193

Д.В. Клименко, студент гр. ПМ-71, к.т.н., доц. С.О. Нечай
ОГЛЯД АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СОРТУВАННЯ СМІТТЯ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИМ МЕТОДОМ 196

М. Д. Лисенко, студент гр. ПМ-п81, к.т.н., доцент, Андрєєва О. В.
ТЕМПЕРАТУРНІ ВИМІРЮВАННЯ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ 199

В.М. Садченко, студент гр. ПМ-71
ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ЕТИЛОВОГО СПИРТУ 203

В.В. Ходячий, аспірант гр. ПМ-81ф, доц. Нікітін О.К.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЕ В ТРУБОПРОВОДЕ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОТОКОВ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ 208

Секція 5. Метрологія, інформаційні вимірювальні технології та екологічна безпека

Ю. В. Носова, А.А. Ільченко, студ. гр. ПН-91, к.т.н., доц., Божко К.М.
РОЗРОБКА І МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ MULTISIM АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСЛІДОВНОГО ТИПУ 214

Panasenko M.H., student gr. PV-01mp, professor Yaremenko V.S.
INFORMATION MEASURING SYSTEM OF WATER PARAMETERS 218

Шолудько К. А., студ. гр. ПН-81, Микитенко М.Л., студ. гр. ПН-81, Волошин О.В., студ. гр. ПН-81, Мельниченко Д.С., студ. гр. ПН-01мп, Мелкумов А.М., студ. гр. ПН-зп91
ВИМІРЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ 221

Секція 6. Комп'ютерно-інтегровані медичні системи та технології біомедичних досліджень

Valeryi Verezhynskyi, student gr. PG-81, Assoc. Prof. Oleksii Pavlovskyi
BRAIN-MACHINE INTERFACES OVERVIEW 226

Y.A. Yukhymenko, student gr.PB-82, V.O. Syrosh, student gr.PB-71
REVIEW AND ANALYSIS OF MODERN GADGETS FOR PEOPLE WITH HEARING IMPAIRMENTS 229

Б.О. Баталія, студент гр. ПБ-82
КЛАСИФІКАЦІЇ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЯ ШЛУНКОВО-КИШКОВОГО ТРАКТУ ЛЮДИНИ 232

Є.О. Бурковський, студент гр. ПБ-82
АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ СИГНАЛУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ ДЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ 235

К.В. Горбатенко, студентка гр. ПБ-01мп
АЛГОРИТМ ФОТОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВОГО СВІТЛОРОЗСІЯННЯ В МЕДИЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ 239

Д. О. Костін, студент гр. ПБ-81, к.т.н, асистент, Вонсевич К. П.
РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОСТАВИ ЛЮДИНИ 242

А.В. Коцюбайло, студент гр. ДК-72
РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ БІОПОТЕНЦІАЛІВ СКЕЛЕТНИХ М'ЯЗІВ 246

А.І. Нагорний студент гр. ПБ – 92мн
АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ФОТОМЕТРІЇ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ . 250

С.О. Полуектов, студент гр.БП-71.
ВПЛИВ ФАКТОРУ АНІЗОТРОПІЇ НА ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ РОЗСІЯННОГО СВІТЛА ЕПІДЕРМІСОМ ЛЮДИНИ НА ДОВЖИНІ ХВИЛІ 632.8 НМ 254

В.В. Терещенко, студент гр. ПБ-82, к.т.н, асистент Вонсевич К.П.
СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК МІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ258

В. О. Чорний, студент гр. БП-71.
АНАЛІЗ ІНДИКАТРИСИ РОЗСІЯННЯ ШАРУ ДЕРМИ ЛЮДИНИ НА ДОВЖИНІ ХВИЛІ 632.8 НМ 262

М. С. Щур, студентка гр. ПБ-82
ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОНТАКТНИХ ПОВЕРХОНЬ ПАЛЬЦЯМИ БІОНІЧНОГО ПРОТЕЗУ 265

СЕКЦІЯ 7. НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ТЕХНІЧНА ТА МЕДИЧНА ДІАГНОСТИКА

М.В. Герасимчук, студент гр. ПК-01мп, ас. Лашко О.В.
УЛЬТРАЗВУКОВА ДІАГНОСТИКА ЗАХВОРЮВАНЬ ОКА 270

М.О. Глущенко, студент гр. ПК-01мп, к.т.н., О. В. Муравйов
МОДЕЛЮВАННЯ ЛЮДСЬКОГО ОКА ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ CAD СИСТЕМ 274

Кібаленко В.В., студент гр. ПК-01мп
МЕТОДИ ВИЯВЛЕНЯ СИГНАЛІВ ЗА НИЗЬКОГО ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ В УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ДЕФЕКТОСКОПІЇ 278

Лемешенко В.В., студент гр. ПК-01мп
НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ В ЕПОХУ ІНДУСТРІЇ 4.0 281

Малько В.П., студент гр. ПК-71
ОГЛЯД СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ 284

Малько В.П., студент гр. ПК-71
ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ РОБОТІВ 288

А.М. Маляров, студент гр. ПК-01-мп
УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ПІДВИЩЕНОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ 291

Д.В. Маснуха, студент гр. ПК-01мп
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ 295

Ю.М. Нижник, студентка гр. ПК-71
ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ 298

Ю.М. Нижник, студентка гр. ПК-71
УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР 302

Д.В. Петренко, студент гр. ПК-01мн
НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ВИРОБІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ ТА БАГАТОШАРОВИХ МАТЕРІАЛІВ 306

Складчиков І.О., студент гр. ПК-71
СМАРТ-ТЕПЛОВІЗОР НА ОСНОВІ ДАТЧИКА AMG8833 310

Складчиков І.О., студент гр. ПК-71
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ 313

Стешенко Я.В., студент гр. ПК-71
ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ В РОЗУМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ 317

Стешенко Я.В., студент гр. ПК-71
УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДЕФЕКТОСКОП НА БАЗІ СМАРТФОНУ 320

В.А. Талецька, студентка гр. ПК-71
ДОППЛЕРОГРАФІЯ В МЕДИЦИНІ 324

К.М. Троцюк, студентка гр. ПК-71
ВИКОРИСТАННЯ СФОКУСОВАНОГО УЛЬТРАЗВУКУ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ХВОРОБИ ПАРКІНСОНА 327

СЕКЦІЯ 8. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

М.В. Кубрак, студент гр. ВА-71, к.т.н., доц. Добролюбова М.В.
МОНІТОРИНГ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ В ОРАНЖЕРЕЯХ ПРИ РОЗВЕДЕННІ ОРХІДЕЙ 332

Д.Є. Куліков, студент гр. ПА-91, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков
КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ 336

Секція 1.

Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і керування

УДК 621.311

С.С. Афзель, студентка гр. ПГ-91мн, Д.О. Півторак, к.т.н.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОВІСНОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА

Анотація. В роботі було проведено розробку та моделювання одновісного сонячного трекера, наведені його характеристики та принцип функціонування. Описано метод роботи сонячного трекера, що дозволяє зменшити розсіювання сонячних променів, які потрапляють на поверхню панелі та робить процес вироблення електроенергії ефективнішим.

Ключові слова: сонячна панель, сонячний трекер, сонячна енергія, електроенергія, альтернативна енергія

ВСТУП

Сонячна енергія стає все більш актуальним та популярним способом генерації енергії в порівнянні з іншими методами. Даний тип вироблення енергії став широко розповсюдженим завдяки росту потреби на чисту енергію та можливості локального виробництва цього типу електроенергії [1].

Кількість згенерованої енергії напряму залежить від сонячного світла і освітленості панелі. Рівень освітленості панелі не постійний, він змінюється протягом дня. Це обумовлює необхідність зміни положення панелі відповідно до кута падіння сонячних променів. Звичайні стаціонарні сонячні панелі не можуть в повній мірі використовувати доступну сонячну енергію.

Для підвищення ефективності поглинання світла та виробництва електроенергії з меншими втратами, необхідно використовувати метод відстеження сонячного світла. В основі даного методу лежить стеження за рухом Сонця на небосхилі протягом дня [2].

МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОВІСНОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА

Сонячний трекер використовується для виставки сонячної панелі перпендикулярно до напрямку сонячних променів, щоб максимізувати освітленість поверхні панелі [3].

Одновісний трекер — це прилад, що може вільно обертатися навколо однієї осі, коли інша вісь зафіксована на визначений кут [4].

Розрізняють декілька видів одновісних трекерів:

- Горизонтальний одновісний трекер.
- Вертикальний одновісний трекер.
- Одновісний трекер з похилою віссю обертання.
- Одновісний трекер з полярно-орієнтованою віссю обертання.

На рис. 1 зображено одновісний сонячний трекер [4].

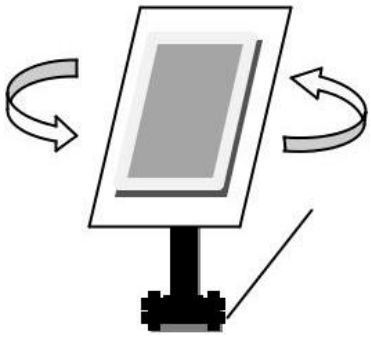


Рис. 1. Сонячний одновісний трекер

З рис. 1 видно, що сонячна панель має нахил на кут α — фіксований кут нахилу панелі відносно площини горизонту. Одновісний сонячний трекер повертається зі сходу на захід протягом дня, відстежуючи азимутальний кут Сонця.

Моделювання роботи одновісного сонячного трекера проводилося у програмному середовищі MATLAB-Simulink.

Для початку розглянемо модель серводвигуна, обраного для трекера, — «Tower PROMG996 R». На рис.2 показана його структурна схема, яка реалізована у вигляді замкнутої системи керування по куту за допомогою передатних функцій серводвигуна постійного струму [5].

Номінальний крутний момент серводвигуна становить 11 кг·см при напрузі живлення 6В. Серводвигун має наступні характеристики, розраховані за результатами випробувань [5]: індуктивність — $1{,}134 \cdot 10^{-3}$ Г; момент інерції — $5{,}5 \cdot 10^{-3}$ Кг м^2, коефіцієнт в'язкого демпфування — 0,154 Нм/рад/с; коефіцієнт протиелектрорушійної сили — 0,537 В·сек/рад; питомий момент — 0,7707 Нм/А.

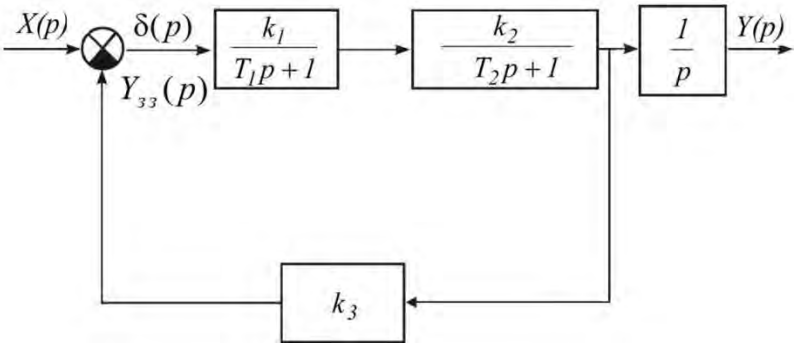


Рис. 2. Структурна схема серводвигуна постійного струму,
де $k_1 = 0{,}385$ с$^{-1}$; $T_1 = 0{,}57 \cdot 10^{-3}$ с; $k_2 = 6{,}5$ с$^{-1}$; $T_2 = 32{,}46 \cdot 10^{-3}$ с; $k_2 = 0{,}53$ с$^{-1}$

За структурною схемою серводвигуна (рис.2) в програмному середовищі MATLAB-Simulink була побудована Simulink-модель. На рис. 3 показаний вихідний сигнал (кутова швидкість) Simulink-моделі серводвигуна, знятий перед інтегратором. Вихідні дані виражаються в радіанах за секунду. На рис. 4 показано кут повороту (в радіанах) серводвигуна – сигнал після інтегратора в моделі на рис.2.

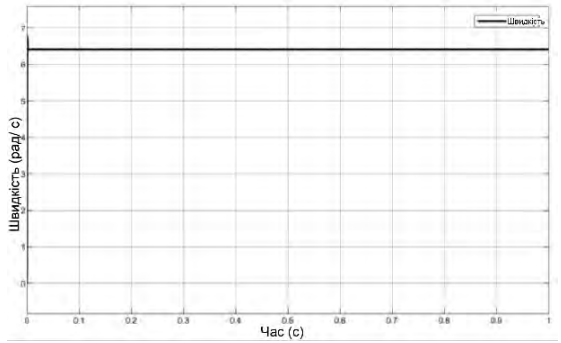


Рис 3. Кутова швидкість серводвигуна

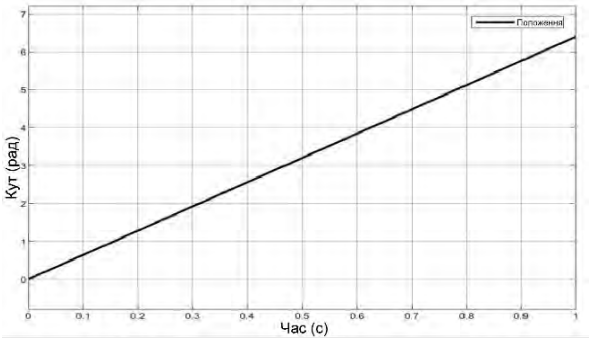


Рис.4. Кут повороту серводвигуна

На рис. 5 представлена розширена імітаційна модель одновісного сонячного трекера. Під час моделювання роботи трекера на вхід моделі подається сигнал азимутального кута, який генерується у блоці «Stateflow» (діаграма станів). Сигнали даного блоку повністю відповідають за логіку роботи моделі. Далі сигнали потрапляють до підсистеми – моделі серводвигуна, який повертає сонячну панель відповідно до первинних даних.

Діаграма станів, яка є основою роботи моделі складається з наступних

станів:

1) «Стаціонарного стану», коли панель нерухома, тобто напруга похибки знаходиться в межах ± 0,3 В.

2) «Panel_Moves_1» – це стан, при якому напруга похибки становить +0,3 В, це означає, що сонячна панель рухається зі сходу на захід.

3) «Panel_Moves_2» – це стан, при якому напруга похибки становить -0,3 В. У даному стані – навпаки – панель рухається із заходу на схід, мікроконтролер переходить в цей стан при певних подіях, таких як похмура погода, зміна ночі на день, коли панель повертається у вихідне становище.

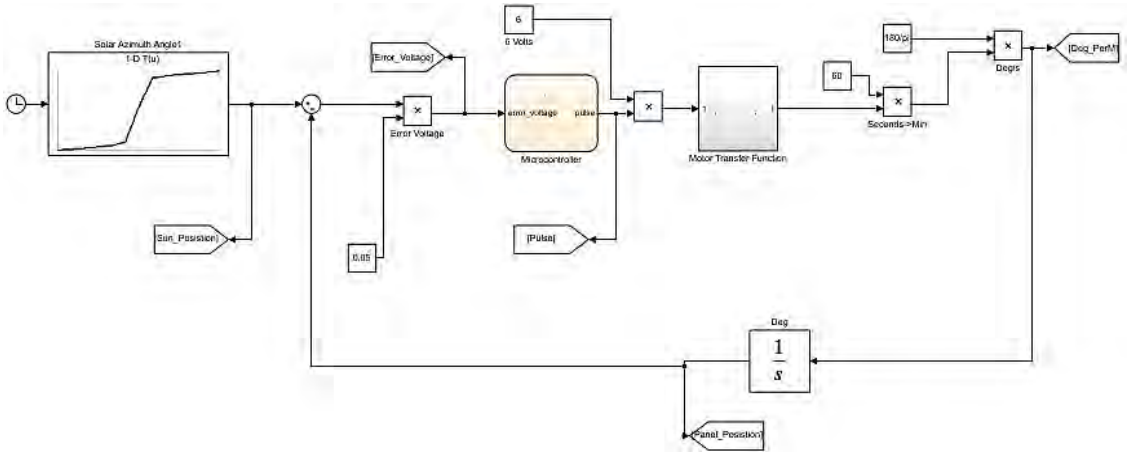


Рис. 5. Модель одновісного сонячного трекера у програмному середовищі Simulink

На рис. 6 показано положення панелі та положення Сонця за азимутальним кутом.

Керуючий сигнал моделі (сигнал розузгодження) отримується як різниця між заданим сигналом (вихід блоку «Stateflow») та поточним. Цей сигнал показано на рис. 7.

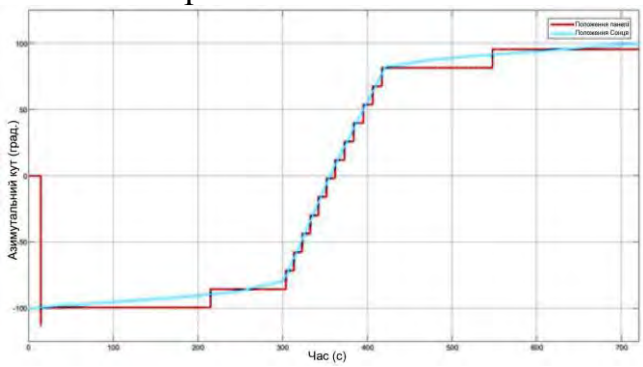


Рис.6. Положення сонячної панелі (град)

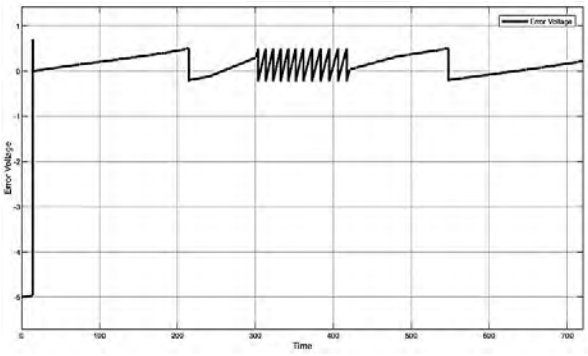


Рис.7. Напруга похибки в залежності від часу

Для перевірки правильності роботи моделі, необхідно проаналізувати наскільки точно змінює своє положення панель відносно Сонця. Для цього потрібно зафіксувати дані в різний час доби: 06:00, 08:00, 10:00, 14:00, 16:00, 18:00, 00:00.

Результати експерименту занесені до таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння азимутального кута.

Час	***Сонячний кут***	***Кут панелі***	***Похибка***
06:00	- 100,17 °	- 100 °	0,17 °
08:00	- 94,61 °	- 100 °	5,39 °
10:00	- 88,07 °	- 86,01	2,06 °
14:00	4,35 °	5,79 °	1,44 °
16:00	89,98 °	87,86 °	2,12 °
18:00	95,05 °	96,01 °	0,96 °
00:00	102,26 °	99,87 °	2.39 °

У табл.1 наведені дані з експерименту проведеного на розробленій моделі. В ній порівнюється значення азимутального кута Сонця та панелі. Розрахована похибка досить мала та не перевищує 10°. Тобто, дана модель може бути використана для розробки макетного зразка приладу.

ВИСНОВКИ

Пошук та вивчення відтворюваних джерел енергії зараз є актуальним, як ніколи. Сонячна енергія являється найпопулярнішою та самою доступною у використанні для людей із всіх існуючих. Використання одновісного сонячного трекера підвищує ефективність генерації електроенергії з сонячного світла. Сонячні трекери довели свою ефективність на практиці та мають незначні похибки у роботі. Отже, для підвищення ефективності роботи та максимально ефективного виробництва відновлювальної електроенергії перетворювачів сонячної енергії необхідно використовувати сонячні трекери.

У роботі проведено аналіз роботи Simulink-моделі сонячного трекера та порівняння значення азимутального кута Сонця та панелі. З результатів видно, що отримана похибка дуже мала, тобто запропонована модель може бути використана для дослідження та розробки реального приладу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Сонячна енергетика [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://alteco.in.ua/technology/solar-energy

[2] Фотоэлектрические системы. Перспективы. Состав. Параметры [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://pochit.ru/fizika/32633/index.html

[3] Фотоэлектрические преобразователи солнечной [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – http://www.gigavat.com/ses_preobrazovateli_1.php

[4] Гелевая технология [Електронный ресурс]// Електрон. текстове видання – 2016.– Режим доступу: https://www.varta-automotive.ru/ru-ru/technology/gel-battery-technology

[5] Автономная энергетическая установка с экстремальным шаговым регулятором мощности солнечных батарей / Ю.А. Шиняков, А.И. Отто, А.В. Осипов, М.М. Черная // Альтернативная энергетика и экология – 2018. – No (8-9) – С. 12-18.

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

УДК 612.178:621.397.13

М.В. Бабенко, студент гр. ПГ-п81, к.т.н., доцент О.М. Павловський
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КАРДІОМОНІТОР

Анотація. У зв'язку з широким поширенням вірусу Covid-19 більше ніж актуальною стала проблема серцевих захворювань людей, що належать до зони ризику. Для своєчасної діагностики, а також динамічного спостереження за станом пацієнтів в режимі реального часу важливу роль грають кардіомонітори. В даній роботі представлений прилад побудований на базі модуля AD8232, а також виконано порівняння результатів із сучасними медичними приладами з метою подальшої побудови автономного приладу для зняття ЕКГ. У якості АЦП, а також каналу передачі інформації на ПК використовується Arduino UNO.

Ключові слова: Кардіомонітор, ЕКГ, автономний кардіограф, AD8232, серцевий ритм, пульс.

ВСТУП

Захворювання серця і судин - це небезпечні, часто патологічні зміни, які особливо гостро відчуваються у зв'язку із розповсюдженням Covid-19, і на сьогодні є найбільш частою причиною смерті у всьому світі. Раніше такі хвороби виявлялися в основному у людей похилого віку, але в останні роки пацієнтами з ознаками таких захворювань все частіше стають люди молодшого віку. А отже, дуже важливу роль відіграє постійний моніторинг стану здоров'я свого серця. Для таких цілей використовуються стаціонарні кардіомонітори - апарати призначені для постійного контролю стану серцевої діяльності. Проаналізувавши ринок кардіомоніторів, які пропонують спеціалізовані медичні магазини можна зробити висновок, що їх ціна досить висока і коливається від 15 до 100 тис. грн. і більше [1], що є абсолютно недоступним для більшості населення. Таким чином, актуальною задачею являється створення доступного портативного пристрою для відстеження серцевого ритму та отримання кардіограми серця, а також її відображення на ПК.

КАРДІОМОНІТОР НА БАЗІ AD8232

AD8232 - модуль призначений для вимірювання імпульсів електричної активності серця людини. Така електрична активність може бути визначена, як електрокардіограма (ЕКГ) і зображена у вигляді аналогового сигналу [2]. Сигнал ЕКГ зазвичай невеликої амплітуди і спотворений різними шумами і завадами, тому конструкція модуля монітору серцевого ритму AD8232 реалізована як операційний підсилювач із інтегрованими двополюсними високочастотними та низькочастотними фільтрами, що надає можливість отримати підсилений корисний сигнал для визначення інтервалів серцевих скорочень в умовах сильних перешкод. Основні характеристики модуля AD8232 представлені в таблиці 1.

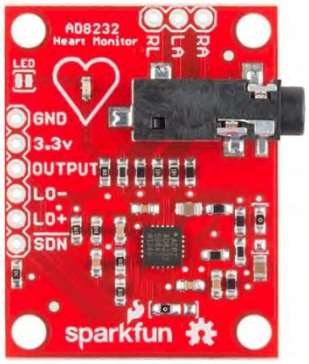


Рисунок 1. зовнішній вигляд модуля AD8232

Таблиця 1. Основні характеристики модуля AD8232

№ п/п	***Назва параметру***	***Характеристика***
1	Споживання струму	170 мкА
2	Напруга живлення	Від 2 до 3.5 В
3	Кількість відведень ЕКГ	1
4	Коефіцієнт ослаблення фазового сигналу	80 дБ
5	Вихідний сигнал	Аналоговий
6	Фільтри ВЧ та НЧ	2-полюсний фільтр високих частот та 3-полюсний фільтр низьких частот

Оскільки модуль AD8232 має аналоговий вихідний сигнал то роль АЦП буде виконувати плата Arduino UNO, також вона слугує каналом для передачі інформації на ПК [3]. Використання зазначеної плати не є принциповим, більш того, при додатковій обробці сигналу в програмі мікроконтролера, плату рекомендовано змінити на більш потужну.

Рисунок 2. Липучки для фіксації контактів на тілі

Для того, щоб отримати кардіограму використовуються спеціальні електроди котрі прикріплюються на груди і кінцівки за допомогою липучок, з яких знімаються сигнали електричної активності серця, загальний вигляд такої липучки показано на рис. 2. Розташовані на тілі пацієнта електроди виявляють невеликі зміни потенціалів на шкірі, які виникають внаслідок деполяризації серцевого м'яза при кожному його скороченні. В залежності від типу контактного шару, у сигналі ЕКГ були присутні додаткові спотворення, що вказує на те, що якість контактів електродів напряму впливає на достовірність результатів.

Схема підключення модуля AD8232 до плати Arduino UNO зображена на рис. 3. Програмування плати виконується в середовищі Arduino IDE мовою C++ [4].

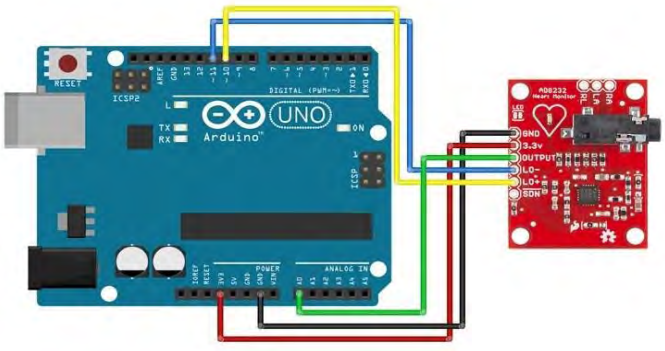


Рисунок 3. Схема пыдключення модуля AD8232 до плати Arduino UNO

На рис. 4. Зображена ЕКГ отримана за допомогою модуля AD8232 і ЕКГ отримана за допомогою пристрою «Юкард-100» (рис. 5). Порівнюючи результати, можна впевнено говорити про їх подібність і інформативність показів з AD8232. Наявність шуму у сигналі AD8232 може бути пов’язана з багатьма факторами. Експериментальним шляхом було визначено, що амплітуда шуму залежить від довжини провідників електродів, а також від якості контакту липучок. У подальшому, планується застосувати різноманітні алгоритми фільтрації для зменшення рівня шумів у вихідному сигналі.

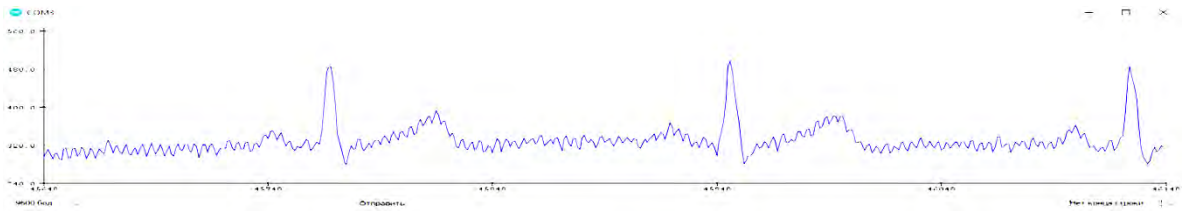


Рисунок 4. ЕКГ отримана за допомогою модуля AD8232

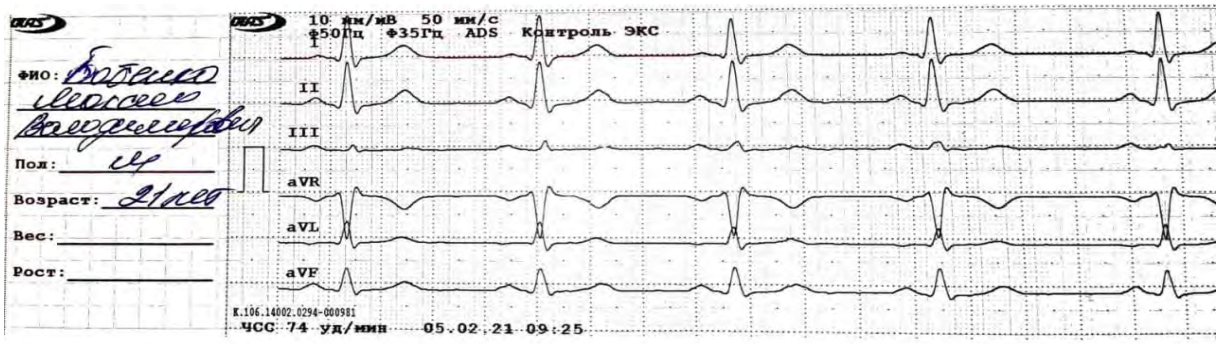


Рисунок 5. ЕКГ отримана за допомогою пристрою «Юкард-100»

ВИСНОВОК

У роботі запропоновано створити мініатюрний автоматизований кардіомонітор на базі модуля AD8232. Так як вихід модуля аналоговий, то у якості АЦП була використана плата Arduino UNO, також вона виконує роль вимірювального каналу для передачі даних і візуалізації їх на ПК. Проведені дослідження за допомогою AD8232 та медичного апарату «Юкард-100» показали схожі результати, що свідчить про працездатність та ефективність розробленого приладу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Медицинское и лабораторное оборудование в Украине — [Електронний ресурс] Режим доступу: http://ukrmedik.com.ua/kardiologiya/monitory-pacienta/

[2] AD8232 Datasheet, PDF — [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ad8232&gclid=CjwKCAjwj6SEBhAOEiwAvFRuKAevzSuDAsQBfsONfuQAnZdLczVr1e34oJIck0watOeFtfH_gYLxIhoCBZwQAvD_BwE

[3] ArduinoBoardUno [Електронний ресурс] Режим доступу:https://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/arduinoBoardUno

[4] Подключение датчика сердечного ритма AD8232, кардиограмма на Arduino — [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.electronica52.in.ua/proekty-arduino/arduino_ad8232

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

УДК 004

Бідник Д.С., студент гр. ПГ-п81, к.т.н., доц. Цибульник С.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АРХІТЕКТУРА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ

Анотація. Робота усіх науково-педагогічних співробітників міцно пов'язана з необхідністю публікації наукових робіт. Для того, щоб підтвердити свої наукові досягнення такі співробітники мають постійно готувати ряд документів, що містять бібліографічні чи науко метричні дані їх публікацій. На сьогоднішній день існує ряд програмних засобів, які дають можливість науковцям проводити бібліографічний пошук серед публікацій науковців з усього світу, а також, у деяких випадках, формувати власний список наукових праць. Проте функціональні можливості таких програм не задовольняють потреб науковців України. Саме тому у даній роботі проведено розробку архітектури мобільного додатку бібліографічної бази даних.

Ключові слова: архітектура, бібліографічна база даних, Android, програмне забезпечення.

ВСТУП

На сьогоднішній день для популяризації науки, наукової діяльності, захисту автора від плагіату та оцінки результативності наукової діяльності застосовується ряд наукометричних показників. Бази даних є одними з головних джерел отримання наукометричних даних. Кожна база даних являє собою систематизовану, упорядковану сукупність даних, яка описує характеристики цих даних та взаємозалежність між ними, а також підтримує одне чи багато програмних середовищ. За допомогою активного використання баз даних можна збільшити кількість потенційних читачів, а також цитування власних наукових праць – це дозволить підвищити впізнаваність та популярність у світовому науковому співтоваристві.

Для науковця важливіше всього, щоб створену ним наукову роботу чи статтю побачило якомога більше інших людей, щоб вони змогли ознайомитися з проведеними дослідженнями, використати їх та зробити свої висновки щодо неї. До початку двадцятого століття, коли наукою займалося мало людей, вага вкладу вченого оцінювалася науковим співтовариством тільки за змістовними якісними критеріями. Коли наука стала популярною в світі почали з'являтися наукометричні показники. У столітті сучасних технологій, існує безліч способів розповсюдити свої дослідження з тими, хто займається науковою роботою. у наш час для наукового співробітника і для вищого навчального закладу в якому він працює дуже важливим є наявність наукових робіт, які впливають на успішність співробітника і закладу.

ВИДИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Основною метою даної роботи є реалізація архітектури програмного забезпечення, яке дозволить оцінити ефективність та спростить пошук інформації про наукову діяльність викладача. Таке програмне забезпечення можна реалізувати у вигляді десктопного, мобільного чи веб-додатку.

Десктопна програма [1] – клієнтське програмне забезпечення, яке реалізує візуальний інтерфейс операційної системи. Додаток встановлюється на робочу станцію користувача і запускається локально. Також може запускатися віддалено. Такі додатки є високопродуктивними та можуть працювати безпосередньо з іншими периферійними пристроями.

Можливості десктопного додатку [1]:

- автономна робота як з підключенням, так і без підключення до інтернету;
- швидкий запуск. Необхідні дані завантажуються з пам'яті комп'ютера, на якому встановлена програма, та не потребують завантаження необхідних параметрів з мережі;
- доступ до функцій операційної системи. Таким чином забезпечується стабільна робота інтерфейсу користувача;
- максимальна ефективність роботи за рахунок можливостей багатопроцесорних систем, безпосередня робота з пам'яттю та файловою системою, а також локальними базами даних;
- робота з периферійними приладами. Основні недоліки [1]:
- залежність від платформи;
- необхідність установки на пристрій;
- проблеми сумісності з пристроями.

Веб-додаток [2] – це комп'ютерна програма, яка виконує певну функцію, використовуючи в якості клієнта веб-браузер. При такій роботі зберігання даних здійснюється головним чином на сервері, а обмін даними відбувається по мережі. З цього випливає, що для роботи з веб-додатком користувачу необхідно мати доступ до Інтернету.

Можливості веб-додатку [2]:

- одночасне використання великою кількістю людей;
- використання незалежно від операційної системи;
- не потребує встановлення програми на пристрій;
- для роботи необхідні тільки браузер і доступ в Інтернет – не потрібно встановлювати спеціальне програмне забезпечення для того, щоб користуватися веб-додатком.

Недоліки веб-додатку [2]:

- неможливість роботи без мережі Інтернет;
- невелика ефективність роботи.

Мобільний додаток [2] – являє собою розроблену для планшетів і смартфонів програму, яка встановлюється на ту чи іншу платформу і має певний функціонал. Відрізняється якісною і швидкісною роботою. Отримувати деякі дані користувач може і без підключення до мережі Інтернет.

Можливості мобільного додатку [2]:

- великі можливості в розробці функціональних елементів;
- можливість роботи без підключення до мережі Інтернет;
- робота з пам'яттю та файловою системою приладу.

Недоліки [2]:

- сумісність. Для кожної мобільної платформи потрібна окрема робоча версія програми;
- підтримка. Необхідність постійного оновлення, виправлення недоліків сумісності з кожним типом пристрою;
- установка на пристрій.

Враховуючи усі переваги та недоліки було обрано реалізацію програмного

забезпечення у вигляді мобільного додатку. Це також пояснюється тим, що сьогодні мобільний телефон (смартфон) є практично у кожної людини.

АРХІТЕКТУРА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ

Для забезпечення мобільного додатку певними атрибутами якості застосовуються різні архітектурні шаблони. Кожен шаблон має свої переваги і свої недоліки. Для даного програмного продукту був обраний архітектурний шаблон MVVM [3]. Шаблон MVVM (Model-View-ViewModel) дозволяє відокремити логіку додатку від візуальної частини і складається з трьох компонентів: моделі (Model), поведінки моделі (ViewModel) і відображення (View).

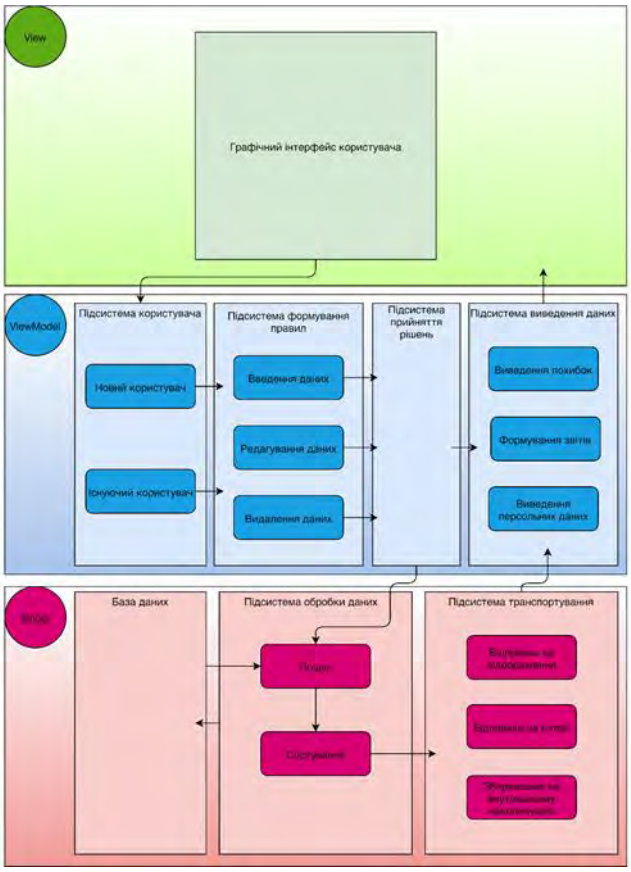


Рисунок 1. Архітектура мобільного додатку

На основі шаблону MVVM була побудована архітектура мобільного додатку (рис. 1). Відповідно до шаблону логіка побудови інтерфейсу користувача міститься в компоненті View. Логіка введення та виведення даних – у ViewModel, ці дані утворюють зв'язок з компонентом Model, де знаходяться база даних, логіка сортування, пошук, збереження, відправка на електрону пошту, які взаємодіють з отриманими від ViewModel даними.

Результатом застосування шаблону MVVM є функціональний розподіл програми на три компонента, які простіше розробляти і тестувати, а також в подальшому модифікувати і підтримувати.

На рис. 1 можна побачити що View утворює зв'язок з ViewModel, а ViewModel з Model. Завдяки такій архітектурі основні правила бізнес-логіки відокремлені від основної програмної логіки, і кожен модуль відповідає за свою конкретну функцію. Елемент «Графічний інтерфейс користувача», який знаходиться на рівні View відповідає за відображення всіх візуальних компонентів мобільного додатку. Він містить компоненти, які дозволяють вводити та відображати необхідні дані. Цей компонент має зв'язок з рівнем ViewModel через елемент інтерфейсу, який відправляє запит на пошук наявності користувачів через інші підсистеми на рівень Model. У залежності від того, який відгук прийшов, «Підсистема користувача» передає управління далі: «Новий користувач», якщо в базі даних немає жодних користувачів та «Існуючий користувач», якщо користувачі є.

Модуль «Новий користувач» дозволяє ввести основні персональні дані

користувача, які записуються в базу даних на рівні Model. Після цього управління автоматично переходить в модуль «Існуючий користувач», який відкриває можливість роботи з записами в базі даних через модулі «Підсистеми формування правил»: «Введення даних», «Редагування даних», «Видалення даних». Основний функціонал даних модулів зрозумілий з їх назв, тому описуватися не буде. «Підсистема прийняття рішень» на основі даних, які вона отримала, формує запит і перенаправляє отриманий набір даних на рівень Model.

На рівні Model знаходиться основна логіка роботи програми, пов'язана з обробкою даних. За цю логіку відповідають такі модулі як: «Сортування», «Пошук», «Збереження» та «Відправка». Підсистема «База даних», у залежності від запиту, передає дані в модуль «Пошук». Після пошуку та необхідного сортування за обраними критеріями, необхідні дані передаються в «Підсистему транспортування». Основна задача даної підсистеми полягає в збереженні даних на накопичувачі або їх відправці в «Підсистему виведення даних» для подальшого відображення в графічному інтерфейсі користувача.

ВИСНОВКИ

У даній статті розглянуто основні види програмного забезпечення, їх переваги та недоліки. Для реалізації програмного забезпечення бібліографічної бази даних обрано мобільний телефон, як основну платформу розробки, та мобільний додаток, як основний вид програмного забезпечення.

На базі багаторівневої архітектурної моделі та шаблону MVVM спроектовано трирівневу архітектуру мобільного додатку. Дана архітектура розділена на три незалежні частини: 1) Model, яка містить основну програмну логіку роботи з даними (збереження, редагування, пошук, сортування, тощо); 2) ViewModel, яка містить реалізацію основних правил бізнес-логіки; 3) View, яка містить елементи користувацького інтерфейсу.

У подальшому на базі розробленої архітектури планується реалізувати мобільний додаток автоматизованої бібліографічної системи для спрощення ведення списку наукових праць та пошуку необхідних публікацій

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Десктопное приложение или веб-клиент – вот в чем вопрос! Подробнее: https://ecm-journal.ru/post/Desktopnoe-prilozhenie-ili-veb-klient-vot-v-chem-vopros.aspx URL: https://ecm-journal.ru/post/Desktopnoe-prilozhenie-ili-veb-klient-vot-v-chem-vopros.aspx (дата звернення: 30.04.2021).

[2] Разработка мобильных и веб-приложений: что является лучшим решением. URL: https://smartum.pro/ru/blog-ru/razrabotka-mobilnykh-i-web-prilozheniy/ (дата звернення: 30.04.2021).

[3] Паттерн MVVM. Определение паттерна MVVM. URL: https://metanit.com/sharp/wpf/22.1.php (дата звернення: 30.04.2021).

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

УДК 551.579.5

О.С. Волошин, студент гр. ПГ-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ДОЗУВАННЯ ВОДИ ДЛЯ СІЛЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПОТРЕБ

Анотація. В даній роботі представлена класифікація систем автоматичного дозування води за типом дощувача. Також були описані типи систем автоматичного дозування води за об'ємом використання води. Кожна з них має свої переваги та недоліки.

Ключові слова : автоматична система поливу, зрошення, дощувач, дозування води, ротор.

ВСТУП

Сільське господарство провідна галузь у світі, адже саме це виробництво в кінцевому рахунку забезпечує людство продуктами харчування. Актуальною у будь-який час потребою залишається економія ресурсів і при цьому збільшення обсягу виробленої продукції.

Україна вважається сільськогосподарською країною, адже має сприятливі умови для розвитку цієї галузі. Та все одно завжди відкрите питання, як зменшити використання часу, фінансових затрат і природних ресурсів.

Обов'язковою умовою плодоношення і росту усіх рослин є регулярна система поливу. Забезпечення якої майже не можливе ручним способом. В такому випадку затрачується багато часу та зайвої води.

У наш прогресивний час великим підприємствам та холдингам не вигідно утримувати велику чисельність робочого складу для таких базових речей як полив. Такі дії значно збільшують собівартість продукції, що в будь-якому випадку зменшує прибуток і робить підприємства менш конкурентоспроможними.

Для вирішення всіх цих питань можна застосовувати автоматичну систему поливу (АСП). Відповідно проаналізувавши вид рослин, що потрібно поливати, обрати і правильно налаштувати систему.

КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ДОЗУВАННЯ ВОДИ

На сьогоднішній день існує велика різноманітність систем зрошення. У світі вже давно використовують такі системи, які дозволяють збільшити ефективність і зменшити вартість готової продукції [1].

Автоматичні системи поливу, в першу чергу, класифікуються за типом використовуваного зрошувача:

АСП з використанням роторів — вода потрапляє на поверхню вищевказаної деталі під час її обертання. Як результат, зрошення проходить безперервно і по всій площі сектора. До переваг відноситься рівномірність поливу усієї ділянки округлої форми, але недоліком є те, що рослини в не доступних для дощувача місцях отримують недостатньо вологи, через зону дії роторів. Це компенсується кількістю встановлених роторів. На рис. 1 представлена роторна АСП [5].

Рисунок 1. Роторна АСП

Рисунок 2. Імпульсна АСП

Імпульсні АСП: використовується відсікач, який розбиває воду, а поворотний механізм забезпечує її рівномірний розподіл по дільниці. До переваг можна віднести те, що полив здійснюється точково, не по всій площині дії. На рис. 2 представлена імпульсна АСП [5].

АСП з використанням статорів (рис. 3) [3] — забезпечують зволоження важкодоступних місць на ділянці. Перевагою є те, що геометрія покритої ділянки буде мати прямокутну форму – до 15 м².

АСП з використанням форсунок боблерів (рис. 4) [4] — вони є додатковим комплектуючим обладнанням до стаціонарних зрошувальних комплексів, що забезпечують полив чагарників і дерев. Їх перевагою є те що, вони діють на конкретний кущ або дерево. Такі системи вмикаються контролером раз в 1-4 тижні. Монтуються вони на окремій гілці трубопровода, бо їх режим роботи дуже відрізняється від перерахованих вище. Цей вид АСП є найекономнішим для поливів садів та ягодників.

Рисунок 3. АСП з використанням статорів

Рисунок 4. АСП з використанням боблерів

АСП з використанням трубної мережі (рис. 5) [5] — компенсаційні трубки з крапельними отворами. Вони прокладаються в ґрунті на глибині до 10 см. Або на поверхні і через краплинні канали, що не забиваються землею, забезпечують надходження рідини з продуктивністю до 4 літрів на годину. При цьому вода поступає до коренів рослин безпосередньо, підвищуючи кількість кисню в ґрунті, створюючи необхідну вологість, знижуючи можливість появи грибкових захворювань.

Рисунок 5. Трубна мережа

Цей тип зрошувальної системи зручний для внесення добрив. До недоліків можна віднести складність правильного укладання, необхідність фільтрації води. У цьому випадку прочистити отвори, що забилися, досить складно.

Незалежно від обраного типу зрошувача, звертають увагу на продуктивність, кут подачі та напір води. Від значень цих показників залежить якісне отримання рослинами необхідної кількості вологи.

Загальним недоліком систем автоматичного поливу вважаються високі матеріальні витрати на покупку і монтаж обладнання.

Існує два основних типи поливу за кількістю використаної води: низького та високого дозування води. І обидва можуть бути ефективно використані у садівництві в залежності від потреби [2].

До низьковитратних систем належать:

Туманізатори — системи, що дозволяють регулювати мікроклімат з середини. Вони працюють завдяки розсіюванню води на краплі розміром 5-10 мікрометрів. Ця система актуальна для рослин, яким необхідно завжди підтримувати певну відносну вологість повітря. До прикладу, томати, баклажани, перець, квасоля, баштанні потребують 60-65% вологості повітря; капуста, морква, буряк, кріп, петрушка, щавель, цибуля порей — 70-75%, а огірок, салат, шпинат, селера, цибуля на зелений лист — усі 80-90%.

Крапельні емітери та крапельні трубки, які дозовано подають воду прямо під корінь рослини. Автоматичні системи із застосуванням крапельного поливу використовують, переважно, для дерев, чагарників, деяких квітників та тих рослин, які не можна або неефективно поливати дощувальних способом [2].

До високовитратних систем належать:

Роторні дощувачі — голівка, що обертається та охоплює велику площу поливу з відстанню від 5 до 25 м. Такий тип зрошувача працює під великим тиском та має різні витрати води — від помірно малих до великих витрат.

Віялові дощувачі — сектор поливу охоплює всю площу. Працює за малих

тисків при невеликій витраті води. Радіус дії до 5 м.

МР-ротатор — поєднує в собі обертання струменя води і одночасне охоплення всієї площі зрошення. Працює такий за малого тиску і має малу витрату води. Радіус дії такого зрошувача від 2 до 9 м.

При плануванні ділянки краще відразу встановлювати систему поливу. Проектування та встановлення систем автоматичного поливу вимагає дуже серйозного підходу.

Автоматичні системи зрошення виключають проблему стоку води при переливі, а датчики, якими укомплектовані системи, визначають рівень випадання опадів і відключають зрошення, якщо воно не потрібно[3].

ВИСНОВКИ

У даній роботі було представлено та проаналізовані основні види систем автоматичного поливу. Кожна з них має свої переваги та недоліки. Вибір системи залежить від конкретних цілей та потреб.

Основною кваліфікаційною ознакою є тип дощувача. Найчастіше використовують такі, як: ротор, імпульсний відсікач, статор, форсунка боблер. Також не менш важливою ознакою є об'єм використання води. До низькозатратних відносять: туманізатори, крапельні емітери та трубки. До високозатратних відносять: роторні дощувачі, віялові дощувачі, МР-ротатор.

До переваг автоматичної системи поливу можна віднести те, що при правильному підборі, встановленні і експлуатації забезпечується комплексний і автономний полив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Сучасні технології поливу: тенденції зрошення, що вже працюють / Український проект бізнес-розвитку плодоовочівництва (UHBDP). — Режим доступу: https://uhbdp.org/ua/eco-technologies/articles/1622-suchasni-tekhnolohii-polyvu-novi-tendentsii-zroshennia-shcho-vzhe-pratsiuiut /— 20.06.2018 р.

[2] Зрошування овочів на відкритому грунті / GrowHow.in.ua [Як вирощувати] онлайн-журнал про вирощування, управління та агробізнес. — Режим доступу: https://www.growhow.in.ua/zroshuvannya-ovochiv-na-vidkrytomu-grunti-obyrayemo-systemu/ - 23.07.2017 р.

[3] Автоматичні системи поливу / Kiev Home. Режим доступу: https://kievrem.com.ua/mir-landshafta/poliv/avtomaticheskie-sistemy-poliva/ — 13.09.2019 р.

[4] Системи поливу – переваги і недоліки / Гребінківський міський сайт — Режим доступу: http://www.grebenka.com/blog/sistemi_polivu_perevagi_i_nedoliki/2019-03-26-5232 — 26.03.2019 р.

[5] Системи автоматичного поливу. Види форсунок / Avtopoliv.com.ua — Режим доступу: https://avtopoliv.com.ua/forsunka-babler/ — 26.09.2020

Наук. керівник – к.т.н., доц.Півторак Д.О.

УДК 681.518.52

Є. Г. Граділь, студент гр. ПГ-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РАДІОКЕРОВАНИЙ ЧОВЕН ДЛЯ РИБНОЇ ЛОВЛІ

Анотація. В роботі розглянута типова конструкція моделі човна, що використовується для рибної ловлі, не дивлячись на велику розповсюдженість таких рішень, єдиної конструктивної схеми не існує. Тому у роботі проведений аналіз конструкції, визначені основні конструктивні елементи, матеріали, що застосовуються для виготовлення корпусу, запропонована принципова схема системи керування та дистанційного зв'язку із керуючим пультом.

Ключові слова: човен, модуль, мікроконтролер, дистанційне керування, сервопривод.

ВСТУП

У наш час існує безліч варіантів радіокерованих човнів. Починаючи від мініатюрних, що використовуються виключно у розважальних цілях, і до масштабних моделей, які знайшли застосування у промисловості, дослідженнях акваторій, розвідувальних та пошукових операціях, т. ін. Одним із проміжних варіантів, є використання таких човнів для риболовецьких цілей. Не дивлячись на більш побутове призначення, такі човни мають індивідуальні розміри, типи керування, способи зв'язку із сушею, можливістю використання GPS та різноманітних навісних пристроїв. Конструктивні особливості та спектр використовуваного обладнання та чутливих елементів відрізняється в залежності від призначення, стилю рибної ловлі, типу акваторії та погодних умов. Із чого випливає, що єдиної універсальної конструкції для таких пристроїв не існує.

Отже, метою даної роботи буде огляд та аналіз типової конструктивної схеми човна, вибір основних елементів для реалізації системи руху та керування, вибір елементів для реалізації бездротового каналу зв'язку.

ТИПОВА КОНСТРУКТИВНА СХЕМА ЧОВНА

Розглянемо типову конструкцію човна для рибної ловлі середніх розмірів, що також є найбільш використовуваною моделлю із приладів такого класу [1-3]. Загальна схема якого приведена на рисунку 1. Віддтак, на рис. 1 показане кермо 1, що слугує для керування курсом та приводиться у рух окремо встановленим серводвигуном (на рисунку умовно не показано). Гребний гвинт 2 через драйдвог кріпиться до дейвуда 3. Дейвуд - пристрій, що представляє собою закриту трубку із валом всередині, зазвичай застосовується пара закритих підшипників і сальник, що ізолює внутрішню частину корабля від попадіння вологи. Конструкція, через муфту 4 приєднана до двигуна 5. Керування двигуном зазвичай реалізовано через окрему ізольовану систему керування, конструктивне виконання якої може суттєво змінюватись в залежності від потужності двигуна та/і дальності передачі сигналів керування.

Для виготовлення корпусів застосовують доволі великий спектр матеріалів, проте перевагу віддають пластикам, при виготовленні корпусів на промислових лініях, або пінополістеролу, для виготовлення одиничних екземплярів, або при моделюванні. При поширенні технології 3D-друку почали з'являтися корпуси повністю або частково надруковані за допомогою PLA або ABS пластиків [2], проте доволі суттєве обмеження накладають значні розміри корпусу, що

унеможливлює створення такої конструкції єдиним процесом.

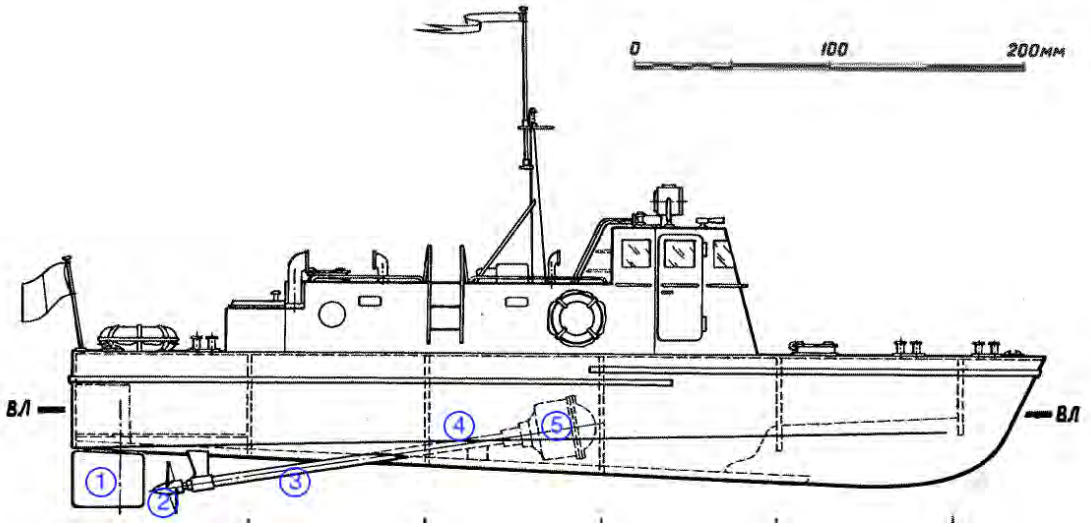


Рисунок 1. Схематичне зображення радіокерованого човна для рибної ловлі.

Корпуси із пінополістеролу набули популярності за рахунок легкої обробки, можливості виготовлення складних форм та ін., проте основним недоліком такого рішення являється неможливість використання радіо керованого човна у вітряну погоду та бурхливих водах.

Із додаткових опцій, що зазвичай передбачені в риболовних радіокерованих човнах є наявність відсіку для скидання рибної прикормки та снастей. Також встановлюють освітлювальні прилади, такі як ліхтарик та проблискові маячки задля ловлі у нічний час. На човен, за потреби, встановлюють ехолокатори та відеокамери (для онлайн спостереження чи запису відеоматеріалу).

Тепер розглянемо запропоновану схему керування основними агрегатами такого човна. Принципова схема основних виконавчих елементів приведена на рисунку 2, проте зазначимо, що у якості прототипу для розроби були використані конструкції із [2,3].

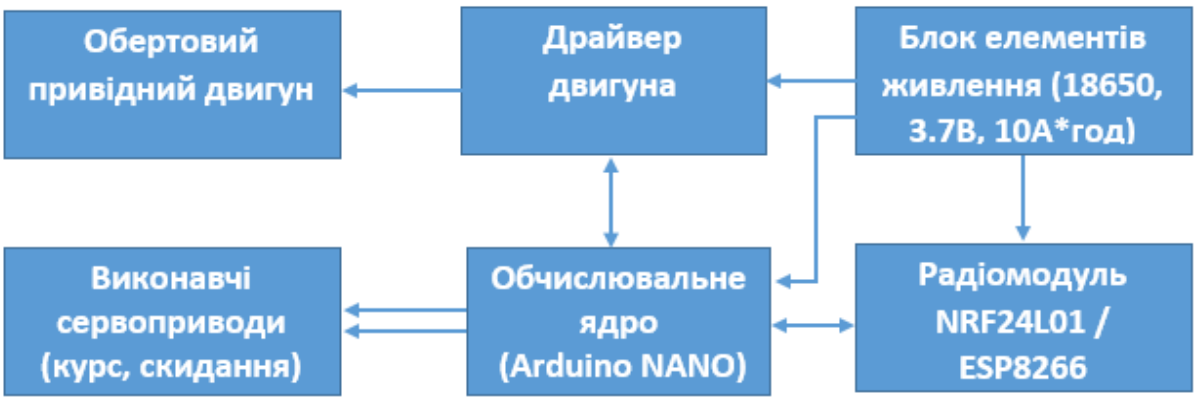


Рисунок 2. Схематичне зображення системи управління та зв'язку

В основі будь-якого сучасного електронного пристрою знаходиться мікросхема, яка призначена для обробку інформації, та формування керуючих команд, зазвичай у ролі такого обчислювального ядра виступає мікроконтролер

(МК). У даній конструктивній схемі запропоновано використати Arduino NANO, на базі мікроконтролера ATMEGA328[4], чого більш ніж достатньо для керування всіма системами корабля та проводити обмін інформацією із керуючим пультом. Обчислювальне ядро віддає безпосередні сигнали керування на сервоприводи, що призначені для керування курсом та реалізують функцію скидання прикорму або снастей. Швидкість обертання та енергоспоживання головного обертового двигуна керується за допомогою модуля драйвера, який сприймає команди від МК. Обмін інформацією із керуючим пультом запропоновано реалізувати на модулях NRF24L01 (радіоканал, 2.4 ГГц), або ESP8266 (WiFi, 2.4ГГц), що достатньо для керування човном на відстані до 100-500м. Енергоживлення системи реалізовано у вигляді блоку акумуляторних батарей форм-фактору 18650 із загальною ємністю 10000мА·год, що достатньо для функціонування човна протягом 2-3 годин.

У подальшому, планується провести дослідження ефективності системи енергоживлення для визначення оптимальної ємності акумуляторних батарей та їх розташування відносно корпусу та центру його мас. А також експериментально підтвердити максимальну дальність систем радіозв'язку.

ВИСНОВОК

В роботі розглянута типова конструкція моделі човна, що використовується для рибної ловлі, не дивлячись на велику розповсюдженість таких рішень, єдиної конструктивної схеми не існує. Тому проведений аналіз конструкції дозволив визначити основні конструктивні елементи, матеріали, що застосовуються для виготовлення корпусу, запропонована принципова схема системи керування та дистанційного зв'язку із керуючим пультом, запропоновано реалізувати її на модулях NRF24L01 (радіоканал, 2.4 ГГц), або ESP8266 (WiFi, 2.4ГГц), що достатньо для керування човном на відстані до 100-500м. Створена система живлення на базі акумуляторних батарей форм-фактору 18650 із загальною ємністю 10000мА·год, що достатньо для функціонування човна протягом 2-3 годин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Модель – копия катера спасательной службы [Електронний ресурс] — Режим доступа: http://sudomodeli.masteraero.ru/kater_model-8.php

[2] RC-лодка на ESP8266 NodeMCU. Habr [Електронний ресурс]— Режим доступа: https://m.habr.com/ru/post/513482/

[3] Прикормочный кораблик своими руками. Самоделки FISH [Електронний ресурс] — Режим доступа: https://samodelkifish.ru/samodelki_letniy_bbyt/samodelki_letniy_bbyt_na_beregu/prikormochnyy-korablik-svoimi-rukami/

[4] Платы Ардуино. Arduino NANO [Електронний ресурс]— Режим доступа: https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Nano.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Павловський О.М.

УДК 629.735.4

Я.Ю. Грищенко, студент гр. ПГ-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ КВАДРОКОПТЕРІВ

Анотація. В роботі розглядаються підходи до опису математичної динамічної моделі безпілотних літальних апаратів на основі законів Ньютона та Ейлера. Аналізуються існуючі моделі та фактори, що впливають на точність відображення складної поведінки квадрокоптерів. Вказані недоліки спрощеної моделі. Пояснена причина важливості врахування ефекту хлопання лопатей під час опису динаміки квадрокоптера.
Ключові слова: квадрокоптери, безпілотні літальні апарати, динамічна модель

ВСТУП

Технологічний прогрес не стоїть на місці: протягом останніх років квадрокоптери впевнено увійшли в наше сучасне життя та перетворились у літаючі апарати, що допомагають людині у різноманітних сферах. Зовсім нещодавно вони використовувались виключно у військових цілях або для наукових досліджень. Зараз їх почали застосовувати для зйомки відео, допомоги при гасінні пожеж, пошуку людей рятувальними командами, доставки невеликих вантажів, в аграрній промисловості та просто як хобі.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є огляд та аналіз існуючих математичних динамічних моделей руху квадрокоптерів. Описуються та пояснюються складові частини моделі, особливості конструкції та принципи, необхідні для розуміння процесів.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Квадрокоптер – малогабаритний чотиримоторний безпілотний літальний апарат. Невеликий розмір та маневреність таких апаратів є неабиякою перевагою для застосування. Однак саме малий розмір є причиною багатьох проблем. Компактність конструкції робить його вразливим до впливу навколишнього середовища. Складність полягає у забезпеченні надійної стабілізації, міцності до непередбачуваних змін середовища, а також гнучкості до отриманих даних від невеликих сенсорів з високим рівнем шуму.

Перші квадрокоптери мали центральне компонування двигуна у фюзеляжі апарату, що приводив у дію гвинти через ремені або вали. Вони були важкими та мали високу схильність до поломки. Так як комп'ютерів раніше не було, регулювати всі чотири ротори для підтримки однакової швидкості та збереження стабільності було нелегкою справою для пілота.

Для квадрокоптера можливе використання двох систем координат [1]. Перша є нерухомою (інерціальна), а друга – рухомою (не інерціальна). Інерціальна система координат – це система, де діє перший закон Ньютона. Для нерухомої системи координат використовується система ONED, де N – північ, E – схід, D – низ (вектор направлений до центру Землі). Для рухомої– система OABC (рис.1).

Класичний квадрокоптер являє собою хрестоподібну раму, на кінцях якої вертикально закріплені електромотори. Позиція квадрокоптера може керуватись шляхом зміни швидкості кожного з чотирьох моторів.

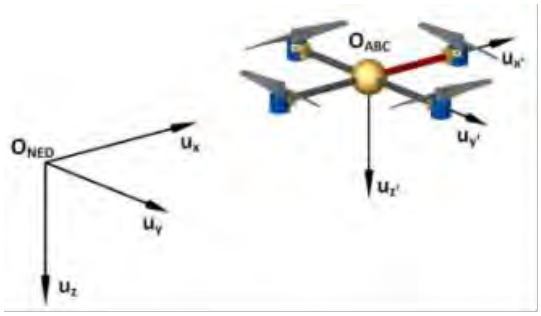


Рисунок 1. Нерухома та рухома системи координат [1]

На квадрокоптер можуть діяти наступні сили та моменти [1]:

– тяга, що викликана обертанням роторів
– момент тангажу та момент обертання, спричинені різницею тяги чотирьох роторів
– гравітація
– гіроскопічний ефект, присутній тільки на легких квадрокоптерах
– момент рискання, викликаний незбалансованою швидкістю обертання чотирьох роторів, може бути виключений, якщо два ротори обертаються в протилежному напрямку

Ротори поділяються на дві групи:

– передній та задній – обертаються проти годинникової стрілки
– правий та лівий – обертаються за годинниковою стрілкою

Рух будь-якого твердого тіла у просторі може бути розділений на дві частини [1]: рух центра мас та рух навколо центра мас. Для опису будь-якого руху у просторі необхідно шість ступенів свободи. Три з них – рух центра мас, інші три – кутові рухи (обертальні рухи навколо трьох осей). Контроль шести ступенів свободи може відбуватись шляхом керування швидкістю обертання окремих моторів. Якщо швидкість всіх чотирьох роторів однакова, реактивні моменти будуть врівноважені та квадрокоптер не буде обертатись. Коли їх швидкість буде не зовсім однакова, квадрокоптер почне обертатись. Вертикальний рух полягає у синхронному збільшенні або зменшенні швидкості всіх роторів одночасно. Через те, що квадрокоптер має чотири вхідні значення (швидкості чотирьох роторів) та шість вихідних (поступальний та обертальний рухи по трьом осям), такий квадрокоптер вважається складною нелінійною системою. Динамічна модель квадрокоптера у системі відліку тіла має наступний вигляд [1]:

$$\begin{cases} f_x = m\left(\dot{u} + qw - rv\right) \\ f_y = m\left(\dot{v} - pw + ru\right) \\ f_z = m\left(\dot{w} + pv - qu\right) \\ m_x = \dot{p}I_x - qrI_y + qrI_z \\ m_y = \dot{q}I_y + prI_x - prI_z \\ m_z = \dot{r}I_z - pqI_x + pqI_y \end{cases} \quad (1)$$

де $\left[f_x\ f_y\ f_z\right]$ – загальна сила, $\left[m_x\ m_y\ m_z\right]$ – загальний крутний момент, m – маса квадрокоптера, $\left[u\ v\ w\ p\ q\ \mathrm{r}\right]$ – лінійні та кутові швидкості у системі відліку тіла, $\left[\dot{u}\ \dot{v}\ \dot{w}\ \dot{p}\ \dot{q}\ \dot{r}\right]$ – лінійні прискорення у системі відліку тіла, $\left[I_x\ I_y\ I_z\right]$ – моменти інерції.

Залежно від швидкості чотирьох роторів можна виокремити чотири базові

рухи квадрокоптера: тяга, тангаж, обертання та рискання.

Для аналізу динаміки квадрокоптера можна використати спрощену модель, яка включає чотири входи керування, що є функціями окремих нормалізованих тяг та крутних моментів. Їх значення нормуються за допомогою моменту інерції та маси відповідно [2].

Момент обертання отримують шляхом зміни швидкості лівого та правого роторів. Момент керування за кутом тангажу отримують шляхом зміни швидкості переднього та заднього роторів. Причому значення моментів прямо пропорційні відстані ротора від центру мас. Момент керування за кутом рискання отримують з крутного моменту при відніманні від суми швидкостей лівого і правого роторів суму швидкості переднього та заднього. Отримані рівняння дають можливість описати вектор керування, що складається з трьох керуючих динамікою обертання значень кутових швидкостей тіла, та значення повної тяги об'єкта. Лінійне положення в нерухомій (інерціальній) системі координат, обертання, тангаж, рискання, та їх відповідні значення кутових швидкостей визначають вектор стану, що складається з 12 змінних [2].

Рівняння руху визначається за допомогою матриці обертання. Використовуючи матрицю обертання значення кутових швидкостей обертання, тангажу та рискання пов'язують з кутовим положенням тіла.

Значення моменту рискання використовують для того, щоб зберігати кут рискання в нульовому положенні. Для отримання поступальних рівнянь руху припускається, що кут тангажу малий. На основі складених виразів представляють повний набір рівнянь стану, що виглядає наступним чином [2]:

$$\dot{x} = \frac{d}{dt}\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ \phi \\ \theta \\ \psi \\ \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ -u_1 \cos\phi \sin\theta \\ u_1 \sin\phi \\ g - u_1 \cos\phi \cos\theta \\ \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} \tag{2}$$

де $\begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix}$ – лінійне положення в нерухомій системі координат, $\begin{bmatrix} \phi & \theta & \psi \end{bmatrix}$ – обертання, тангаж та рискання відповідно, u_1 – повна тяга, $\begin{bmatrix} u_2 & u_3 & u_4 \end{bmatrix}$ – моменти обертання, тангажу та рискання відповідно, g – сила тяжіння.

Також можна зазначити [3], що найпростіша модель квадрокоптера складається лише з динаміки твердого тіла з приводами абстрактної сили та

крутного моменту у якій відсутня аеродинаміка. Квадрокоптер зазвичай представлений у вигляді маси твердого тіла, що має інерцію та автогіроскопію на які діє сила тяжіння та моменти контролю. Проте, прості динамічні моделі квадрокоптера не відображають складну поведінку літального апарату, яку демонструють справжні квадрокоптери [3]. Зокрема, вони опускають ефект хлопання лопатей, що є критично важливим для розуміння коливальних моделей квадрокоптерів, хлопання роторів через рискання та змінні швидкості припливу ротора як наслідок тангажу та обертання об'єкта. Динаміку хлопання починають поступово визнавати як важливий аспект динаміки квадрокоптера. Навіть дуже маленькі квадрокоптери демонструють ефект хлопання. Можна показати, що характер нестабільності динаміки квадрокоптера, коливальної або повністю розбіжної, залежить від висоти ротора над центром мас. Розміщення роторів на площині або трішки вище площини центру ваги дозволяє мінімізувати функцію чутливості системи. У випадках великих квадрокоптерів, у яких пропускна здатність приводу обмежена повільною динамікою ротора, це може бути вирішальним конструктивним моментом [3].

ВИСНОВКИ

В останній час інтерес до автономних безпілотних літальних апаратів підвищується. Цьому сприяє зменшення вартості компонентів з яких скаладаються квадрокоптери, а також широке застосування таких об'єктів у різних галузях. Розробляються нові та покращуються існуючі алгоритми опису динаміки польоту квадрокоптерів, їх системи керування та планування траекторії, що демонструє актуальність даної задачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Francesco Sabatino. Quadrotor Control: Modeling, Nonlinear Control Design, and Simulation. In Master's Degree Project, pages 7 – 15. 2015.

[2] I.D. Cowling, O.A. Yakimenko, J.F. Whidborne, and A.K. Cooke. A prototype of anautonomous controller for a quadrotoruav. In European Control Conference, pages 1–2, 2007.

[3] P. Pounds, R. Mahony, and P. Corke. Modelling and control of a quadrotorrobot. In Australasian conference on robotics and automation 2006, Auckland, NZ, pages 6 – 12, 2006.

Наук. керівник – к.т.н., доцент кафедри ПСОН, Мураховський С.А.

УДК 519.71, 629.051, 621.398

С.О. Гуриненко, аспірант гр. ПГ-01ф
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СУЧАСНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ

Анотація. Розглянуто засоби та способи організації систем керування у безпілотних підводних апаратах. Запропоновано вирішення проблеми керування для автономних безпілотних підводних апаратів на основі інтелектуальної системи керування побудованої на МЕМС технологіях.

Ключові слова: автономний безпілотний підводний апарат (АБПА), багатоцільовий АБПА, робототехніка, система керування, мікроелектромеханічна система (МЕМС), гідроакустична система, радіохвильова система, кабельна система, інтелектуальна система.

ВСТУП

Сучасні багатоцільові автономні безпілотні підводні апарати (АБПА) є новим класом розвитку робототехнічних об'єктів зі своїми задачами, завданнями, особливостями технології конструювання та складом систем. Системи керування, які входять до складу АБПА та судового обладнання, відрізняються різноманіттям за призначенням та фізичними принципами роботи, що у свою чергу створює достатньо жорсткі та водночас суперечливі вимоги до конструювання та внутрішнього компонування приладів та систем.

Важливим та актуальним є необхідність розв'язання такої теоретичної та практичної задачі, як пошук оптимального способу керування АБПА, який би міг застосовуватися на апаратах, призначених для виконання різноманітних завдань та які б мали тривали час автономного функціонування.

ОГЛЯД ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Сучасний стан і напрямки розвитку підводних апаратів висвітлені в роботах [1, 2]. Аналіз та огляд перспектив, які були проведені у роботах [1-3], показали, що на сьогоднішній день майже не розглядаються та не проводяться дослідження щодо можливості застосування альтернативних засобів керування АБПА, як наприклад застосування автономних інтелектуальних систем управління на базі мікроелектромеханічних систем (МЕМС).

Побудова систем керування АБПА ґрунтується на сфері застосування певних типів АБПА, які виконують лише вузький клас задач та завдань, а також залежать від особливостей конструкції АБПА.

У результаті цього на сьогоднішній день існують рішення лише спеціалізованих, вузьких під-задач загальної проблематики, де основна більшість прив'язана до певної, специфічної конструкції та задачі, яку мусить виконувати АБПА.

Розглянемо загальні методи організації системи керування.

ГІДРОАКУСТИЧНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

Гідроакустична система керування (ГСК) – це сукупність засобів які призначені для здійснення, зміну стану деякого об'єкта у водному просторі, у якому поширюються гідроакустичні хвилі. ГСК реалізується приймальними та передавальними станціями. Відомо достатня кількість гідроакустичних систем

керування, які відрізняються між собою дальністю дії, модуляцією сигналу, елементною базою.

Умовами, які визначають параметри системи є: розміщення проймо-передавальних блоків, масо-габаритні та енергетичні характеристики як окремих вузлів та блоків так і допоміжних системи у цілому.

Для реалізації умов необхідно вирішити питання розміщення системи та розміщення спеціальних гідроприйомачів та передавачів у заданому квадранті, де планується використання ГСК. На рис. 1 зображено один із варіантів конструктивного виконання чутливого елемента ГСК.

а) б)

Рис. 1 Гідроакустичний буй (а) та буксирувальний антенний модуль (б)

Зазвичай ГСК складається із: консольної панелі оператора, блока енергоживлення, гідроприймача, гідропередавача, спеціалізованих ліній зв'язку, антенного модуля та допоміжних блоків формування та фільтрації сигналу. Недоліками такої системи є використання вузької номенклатури спеціалізованих та коштовних матеріалів, великі енерговитрати та конструктивна складність елементів які входять до складу системи, допоміжні носії антенного модуля (судно, літак, гвинтокрил), а також розміщення гідроприймачів та передавачів для забезпечення стійкого сигналу керування.

РАДІОХВИЛЬОВА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

Радіохвильова система керування (РСК) – це сукупність засобів та дій, які призначені для здійснення цілеспрямованої зміни положення об'єкта у просторі.

Електромагнітні радіохвилі широко застосовуються у наземному, повітряному та космічному просторах, але застосування електромагнітних радіохвиль у морській та підводній справі дуже обмежене.

Водний та підводний простори мають обмеження для довгих, середніх, коротких та ультракоротких хвиль. Але у то самий час наддовгі хвилі без перешкод можуть відбиватися від іоносфери та поширюватися далеко за горизонт та проникати у глибину водного простору. Недоліками РСК є конструктивна складність побудови системи, значні енерговитрати системи та жорсткі вимоги до блоків приймача та передавача, розміщення системи, допоміжна апаратура для ретранслювання сигналу та жорсткі вимоги до антен приймача і передавача, які встановлюються на об'єкті.

КАБЕЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

Кабельна система керування – сукупність засобів, які з'єднані між собою кабель-тросами, для передачі електричного сигналу до органів керування.

На сьогоднішній день кабельна система управління одна із найпоширеніших систем для забезпечення стійкого електричного сигналу та стійкої передачі інформації.

Виконання кабельної системи є простим: декілька кабель – каналів, об'єднаних в один чи декілька кабель – тросів, з'єднують станцію керування із об'єктом керування. На рис. 2 зображено структуру організації кабельної системи керування безпілотного підводного апарата.

Рис. 2. Основні компоненти та структура кабельної системи керування АБПА [4]

Недоліками кабельної системи є дуже обмежена маневреність підводного апарата, обмежена автономність, додаткове допоміжне обладнання (носії елементів кабельної системи), жорсткі вимоги до кабель-тросів системи.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

Інтелектуальна система керування (ІСК) – сукупність алгоритмічних та технічних засобів для автоматичного визначення місцеположення, формування та прокладання маршруту руху об'єкта та формування керуючих сигналів на елементи керування (маршові та допоміжні двигуни, рульові приводи, аерогідродинамічні поверхні).

Основна задача ІСК АБПА – на основі отриманої інформації від зовнішніх сенсорів автоматично виробити оптимальну траєкторію руху підводного апарата відповідно до поставленої перед апаратом задачі.

Зазвичай інтелектуальні системи реалізуються на вже відомих методах [5, 6] та відомій елементній базі [2,6]. Із зростанням використання мікроелектромеханічних технологій процес побудови ІСК стає відносно простішим. Використовуючи МЕМС датчики, які здатні вимірювати різні величини, збільшується повнота отриманої інформації, у наслідок чого керування підводним апаратом стає більш автономним, зменшуються енерговитрати апарата і, як наслідок, збільшується час автономного функціонування апарата. Проте, зі збільшенням повноти інформації постає проблема вибору алгоритму та методу обробки вихідної інформації від сенсорів та формування сигналів для здійснення автоматичного керування. Перевагою

ІСК перед іншими системами є збільшення автономності функціонування підводного апарата [7], зменшення енерговитрат, відносно конструктивна простота виконання блоків системи керування, застосування загальних та уніфікованих компонентів для побудови елементів системи.

ВИСНОВКИ

Існуючі системи керування підводними апаратами широко використовуються, проте вимагають значних витрат та допоміжних елементів, що призводить до нагромадження та ускладнення функціоналу і збільшення витрат на розробку системи, а також не забезпечують тривалої автономності підводного апарата. Порівняльний аналіз існуючих систем показує актуальність подальших досліджень, які спрямовані на розробку концептів інтелектуальних систем керування, які застосовують МЕМС датчики, як первинні джерела інформації. Актуальним постає питання створення та розробка алгоритмів та структурно-функціональних схем інтелектуальної системи керування, які б забезпечували оптимальну якість керування в залежності від динаміки руху підводного апарата.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Бочаров Л. Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития/ Л.Бочаров // Микроробототехника – Электроника. Наука, технология, бизнес. – 2009. – №7. – с.62-93.

[2] Блінцов В.С., Сучасні задачі автоматичного керування самохідною прив'язною підводною вантажною системою / В. С. Блінцов, А. М. Войтасик // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. - 2017. - № 3. - С. 49-55. - Режим доступу, URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpnuk_2017_3_8.

[3] Огляд стану сучасних автономних безпілотних підводних апаратів/ Н.І. Бурау, Л.Л. Яцко, М.Д. Расулов, Бобрик В.С // Вісник інженерної академії України – 2017. – №4 – С. 12 – 17.

[4] Бабкін Г. В. Моделі управління проектами створення засобів морської робототехніки : дис. канд. техн. наук : 05.13.22 / Бабкін Георгій Володимирович – Миколаїв, 2016. – 268 с.

[5] Разработка интеллектуальной системы управления автономного подводного апарата/ Пшихопов В.Х., Чернухин Ю.В., Федотов А.А., Гузик В.Ф., Медведев М.Ю., Гуренко Б.В., Пьявченко А.О., Сапрыкин Р.В., Переверзев В.А., Приемко А.А.// Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – №3(152) – С.87-101.

[6] Timothy Sands and Kevin Bollino, Autonomous Underwater Vehicle Guidance, Navigation, and Control, http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.80316.

[7] Система управления АНПА большой автномности на базе мультиагентного похода/ Борейко А.А., Инзарцев А.В., Машошин А.И., Павин А.М., Пашкевич И.В.// Подводные исследования и робототехника. DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.003 – 2019. - №2(28). – С.23-31.

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

УДК 004

Зубарський Д.О., студент гр. ПГ-01мп, к.т.н., доц. Цибульник С.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського (стиль: Організація)

МЕНЕДЖЕРИ ПАРОЛІВ

Анотація. На сьогоднішній день існує велика кількість сервісів, сайтів, додатків, програм та інших місць, які потребують наявності логіна та пароля для забезпечення безпеки персональних даних користувача. Незважаючи на велику кількість видів паролів, одним з найкращих способів збереження та керування паролями є менеджери паролів. Тому у даній статті розглянуто основні переваги менеджерів паролів, як засобів безпечного збереження персональних даних.

Ключові слова: менеджер паролів, шифрування, персональні дані, програмне забезпечення.

ВСТУП

Сьогодні використання інформаційних та комп'ютерних технологій стало звичкою для кожної людини. Жодна наукова область чи будь-яка інша сфера діяльності людини не може існувати без використання новітніх технологій, передових розробок, гаджетів, тощо. Цифрове забезпечення покращується кожного дня і можливості його використання стають більш всеохоплюючими та необмеженими.

Кожна людина має фізичну, фізіологічну, соціальну або культурну ідентичність, за допомогою якої можна сформувати набір персональних даних для її ідентифікації. Персональні дані діляться на дві категорії [1]: загальні та особливі (чутливі).

До загальної категорії можна віднести [1]: прізвище та ім'я; дату та місце народження; громадянство; сімейний стан; псевдонім; дані, записані в посвідченні водія; економічне і фінансове становище; дані про майно; банківські дані; підпис; дані з актів цивільного стану; номер пенсійної справи; адресу місця проживання; дипломи про освіту, професійну підготовку тощо.

Особлива категорія охоплює інформацію про [1]: расове, етнічне та національне походження; політичні, релігійні та світоглядні переконання; членство в політичних партіях та/або організаціях, професійних спілках, релігійних організаціях чи громадських організаціях світоглядної спрямованості; стан здоров'я (медичні дані); статеве життя; біометричні дані; генетичні дані; притягнення до адміністративної чи кримінальної відповідальності; застосування до особи заходів у рамках досудового розслідування, тощо.

Використовуючи різноманітні сервіси, програми, сайти, додатки, користувачі створюють персональні кабінети і для ідентифікації особи змушені залишати певний набір персональних даних, щоб мати можливість і в подальшому користуватися потрібним програмним забезпеченням. У кожному випадку необхідно вводити різний набір даних, утрата якого призводить до певних наслідків для користувача.

ПАРОЛЬ, ЯК ЗАСІБ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧА

Для ідентифікації користувача майже завжди створюються логін та пароль для входу, які зберігаються в пам'яті сервіса і в подальшому можуть бути використані повторно.

У свою чергу, користувач повинен запам’ятовувати чи записувати ці данні для використання свого акаунту на конкретній платформі. Відомо багато випадків втрати паролів або навіть втрати доступу до особистого кабінету користувача.

Основними недоліками зберігання паролів є можливість їх втратити. Для збереження паролів та подальшого їх застосування дуже часто використовуються різні способи зберігання паролів: на комп'ютері, телефоні, у спеціальних програмах, на папері, у пам’яті. Одні з них більш безпечні чи практичні, інші навпаки. Розглянемо основні види паролів.

Статичний (багаторазовий) пароль – пароль, який постійно застосовується для ідентифікації та отримання доступу до персональних даних. Зберігати такий пароль треба ретельніше. Підбір багаторазового паролю потребує особливої уваги, тому що від його надійності залежить безпека конфіденційної інформації. Багаторазові паролі програють одноразовим через те, що мають менший захист та можуть бути застосовані декілька разів.

Динамічний пароль [2] – пароль або кодове слово, яке може використовуватися тільки один раз. Такий пароль є дійсним тільки для одного сеансу аутентифікації – перевірки приналежності користувача до осіб з дозволом на перегляд конфіденційної інформації за допомогою кодового слова. Функціонування одноразового пароля може обмежуватися заздалегідь визначеним проміжком часу (як правило, 24 години). Основна перевага такого виду пароля полягає в тому, що його неможливо використовувати повторно, а тому зловмисник, навіть якщо дізнався пароль, не може отримати доступ до захищеної інформації. Недоліком застосування одноразового пароля є потреба в частій зміні та запам'ятовуванні пароля.

BankID [3] – спосіб верифікації громадян через українські банки для надання адміністративних та інших послуг через Інтернет.

BankID вирішує проблему верифікації користувача через Інтернет. Щоб надати громадянину довідку, потрібно переконатися в тому, що це дійсно конкретний громадянин. Якщо громадянин вибере верифікацію через BankID, він вводить логін/пароль свого інтернет-банку, проходить другий етап авторизації (наприклад, введення SMS-пароля) і таким чином підтверджує свою особу.

Електронний цифровий підпис [4] (або скорочено – ЕЦП) за правовим статусом прирівняний до власноручного підпису або печатки.

ЕЦП – це дані в електронній формі, отримані за результатами криптографічного перетворення, які додаються до інших даних або документів і забезпечують їх цілісність та ідентифікацію автора.

За допомогою послуг ЕЦП можна підписувати електронні документи, користуватися електронними послугами, реєструватися на державних порталах тощо. Документи, підписані за допомогою ЕЦП, мають таку саму юридичну силу, як і звичайні.

Біометрія [5] – це ідентифікація людини за унікальними, властивими тільки їй, біологічними ознаками. Сьогодні експлуатується вже більше десятка різних біометричних ознак. Причому для найпоширеніших з них (відбитки пальців і

райдужна оболонка ока) існує безліч різних за принципом дії сканерів. Так що користувачам, що вирішили використати біометричну ідентифікацію, є із чого вибрати.

Головною перевагою біометричних технологій є найвища надійність. І дійсно, усі знають, що двох людей з однаковими відбитками пальців у природі просто не існує. Правда, сьогодні вже відомо кілька способів обману дактилоскопічних сканерів. Наприклад, потрібні відбитки пальців можуть бути перенесені на плівку або до пристрою може бути прикладена велика фотографія пальця зареєстрованого користувача. Втім, треба зізнатися, що сучасні пристрої вже не попадаються на такі прості виверти. Так що зловмисникам доводиться видумувати все нові й нові способи обману біометричних сканерів.

Двофакторна аутентифікація. Сьогодні в галузі кібербезпеки виокремлюють ряд рішень для малого та середнього бізнесу, які допомагають забезпечити додаткові рівні безпеки корпоративної мережі [6]. Проте важливо захищати не тільки IT-системи, а й конфіденційні дані, які є головним ресурсом будь-якого підприємства. Одним із першочергових кроків для безпеки важливої інформації має бути посилення захисту облікових записів на додаток до стандартного пароля.

Зокрема набуває популярності двофакторна аутентифікація, яка є ідеальним рішенням для захисту різних онлайн-сервісів від несанкціонованого доступу. Правильне впровадження та використання технології – найкраще доповнення до створення надійних паролів. Оскільки більшість користувачів не звикла створювати та запам'ятовувати велику кількість складних комбінацій, використання двофакторної аутентифікації дозволить підвищити рівень безпеки облікових записів.

Одним із сучасних засобів зберігання паролів є спеціальні менеджери паролів, але всі вони мають свої недоліки.

МЕНЕДЖЕРИ ПАРОЛІВ

Менеджери паролів захищають користувачів, створюючи надійний унікальний пароль для кожної служби, яка використовується, і позбавляє від необхідності вводити ці паролі кожного разу самостійно по пам'яті.

Менеджери паролів можуть запобігати атакам з повторним використанням паролів [7], при яких зловмисники зламують веб-сайт, крадуть у нього адреси електронної пошти і паролі користувачів і намагаються увійти на інші сайти, використовуючи вкрадені пари електронної пошти та пароля. Атаки працюють, тому що багато людей повторно використовують один і той же пароль на декількох веб-сайтах [7]. Менеджери паролів дозволяють легко і просто використовувати різні випадкові паролі для кожного облікового запису – принаймні, після того, як користувач замінить всі свої старі повторно використовувані паролі. Крок заміни важливий, тому що, якщо користувач залишає всі свої старі паролі на місці і просто дозволяє диспетчеру паролів ввести їх за нього, диспетчер паролів не зможе зупинити цю атаку.

Менеджери паролів можуть запобігти «фішингу» на веб-сайтах самозванцях. Веб-сайти самозванці виглядають як веб-сайт, на якому у

користувача є обліковий запис, щоб обманом змусити його ввести пароль для цього облікового запису. Зловмисники часто створюють електронні листи, які виглядають так, як ніби вони приходять з веб-сайту, який вони хочуть видати за справжній, але надають посилання на веб-сайт зловмисника. Менеджери паролів захищають користувачів від цих атак, тому що вони не будуть вводити пароль, якщо користувач перебуває на сайті зловмисника з іншою адресою. Якщо менеджер паролів знає унікальний випадковий пароль для цього сайту, а користувач – ні, то менеджер паролів набагато складніше обдурити, щоб він ввів пароль [7].

Менеджери паролів відстежують, в яких службах у користувача є облікові записи, допомагаючи йому визначити невживані облікові записи, дані з яких користувач, можливо, захоче закрити або видалити, щоб зменшити доступ до власних персональних даних.

ВИСНОВКИ

У даній статті розглянуто основні види персональних даних людини. Також проведено огляд основних типів паролів, як засобів ідентифікації користувача і одного з видів персональних даних.

Показано, що менеджери паролів можуть захищати користувача, створюючи надійний унікальний пароль для кожної служби, сайту, додатку чи програми, яку користувач використовує. Пояснено як саме використання сучасних менеджерів паролів допомагає захиститися від «фішингових» атак зловмисників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Питання у сфері захисту персональних даних. URL: https://ecpl.com.ua/news/top-10-pytan-u-sferi-zakhystu-personal-nykh-danykh/ (дата звернення: 30.04.2021).
[2] Динамический пароль. URL: https://sirius.kiev.ua/dinamicheskiy-parol (дата звернення: 30.04.2021).
[3] BankID. URL: https://bankid.org.ua (дата звернення: 30.04.2021).
[4] Що таке електронний цифровий підпис (ЕЦП)? URL: https://www.kmu.gov.ua/usi-pitannya-po-e-poslugam/sho-tak-elektronnij-cifrovij-pidpis-ecp (дата звернення: 30.04.2021).
[5] Біометрична ідентифікація. URL: https://sites.google.com/site/identifikaciataautentifikacia/ponatta-pro-identifikaciu/biometricna-identifikacia (дата звернення: 30.04.2021).
[6] Двофакторна аутентифікація. URL: https://eset.ua/ua/blog/view/22/dvukhfaktornaya-autentifikatsiya-chto-eto-i-kak-rabotayet (дата звернення: 30.04.2021).
[7] Before You Use a Password Manager. URL: https://stuartschechter.medium.com/before-you-use-a-password-manager-9f5949ccf168 (дата звернення: 30.04.2021).

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

УДК 629.7.05.001

А.О. Лантушенко, студентка гр. ПГ-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОРЕКЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КУТОМ КУРСУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Анотація. У представленій роботі був розглянутий варіант поліпшення динамічних характеристик системи автоматичного керування кутом курсу за допомогою корекції. Аналіз частотних характеристик та перехідної характеристики замкненої системи керування показав, що система має малий запас стійкості, а перехідний процес характеризується значним пере регулюванням та тривалістю. Тому обрано рішення ввести корекцію для покращення показників стійкості та якості перехідного процесу цієї системи.

Ключові слова: корекція, ЛАЧХ, ЛФЧХ, запас стійкості, перехідна характеристика.

ВСТУП

Роботу присвячено аналізу системи автоматичного керування кутом курсу літального апарату (ЛА) та обґрунтуванню методів корекції для забезпечення прийнятних характеристик стійкості та якості перехідного процесу.

Система керування містить датчики первинної інформації (датчик кута (ДК) та датчик кутової швидкості (ДКШ)), підсилювач (П) та виконавчий елемент - рульову машину (РМ) з місцевим зворотним зв'язком. Як об'єкт керування виступає ЛА, який відповідно до сформованого керуючого впливу та реалізованого виконавчим елементом кута відхилення руля змінює курс для забезпечення мінімального відхилення його від заданого значення.

Як відомо [1], система автоматичного керування, яка складається тільки з необхідних функціональних елементів для формування та реалізації на об'єкт керуючого впливу, не завжди відповідає вимогам стійкості та/чи якості керування. Тому для приведення динамічних характеристик системи у відповідність до вимог використовується корекція системи. Вибір того чи іншого методу корекції залежить від динамічних характеристик системи, які вона має, та від мети, якої необхідно досягнути застосуванням корекції..

Метою даної роботи є аналіз частотних характеристик та перехідної характеристики системи та їх покращення шляхом корекції.

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Для аналізу частотних та перехідної характеристик системи виконано її моделювання в графічному середовищі Simulink [2]. Для моделювання використано такі передатні функції та параметри елементів САК [3]:

Датчик курсу: $W_{дк}(p) = K_{дк}$, $k_{дк} = 0,5$ В/рад;

Датчик кутової швидкості: $W_{дкш}(p) = K_{дкш} \cdot p$, $k_{дг} = 0,3$ В*с/рад;

Підсилювач: $W_{п}(p) = k_{п}$, $k_{п} = 10$;

Рульова машина: $W_{рм}(p) = \dfrac{k_{рм}}{p \cdot (T_{рм} \cdot p + 1)}$, $k_{рм} = 4$ рад/(В*с), $T_{рм} = 0,12$ с;

Зворотний зв'язок: $W_{зз}(p) = k_{зз}$., $k_{зз} = 0,1$ В/рад;

ЛА: $W_{ла}(p) = \dfrac{k_{ла}}{p \cdot (T_{ла} \cdot p + 1)}$, $k_{ла} = 2\ \text{с}^{-1}$, $T_{ла} = 1,2$ с;

Паралельний зв'язок: $W_{пар}(p) = W_{дк}(p) + W_{дкш}(p)$

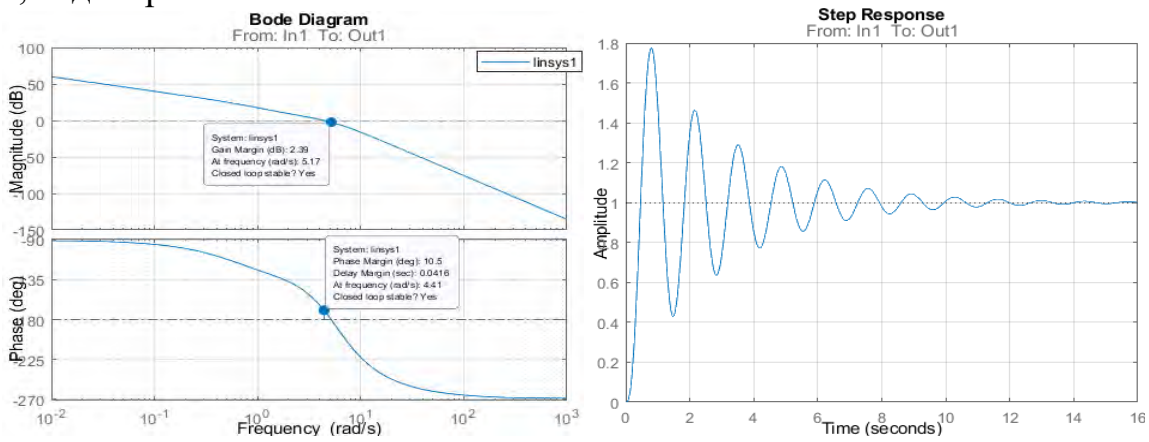
Підсилювач та рульова машина охоплені зворотним зв'язком з пропорційною ланкою в ньому. В результаті проведених структурних перетворень цього з'єднання отримано коливальну ланку з такими параметрами: $k_{кол}$=10; $T_{кол}$=0,17; ς=0,73.

Для аналізу було побудовано логарифмічну амплітудно-частотну характеристику (ЛАЧХ) та логарифмічну фазочастотну характеристику (ЛФЧХ) розімкненої системи і перехідну характеристику замкненої системи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На рис. 1 наведено графіки ЛАЧХ і ЛФЧХ (рис. 1,а) початкової системи системи з наведеними вище даними. Як видно з наведених графіків, система є стійкою, але з малими запасами стійкості (за амплітудою – менше 3 дБ, за фазою – 10^0). Тривалість перехідного процесу складає 9 с, процес коливальний з частотою 0,7 Гц та значними відхилення від усталеного значення, що є неприпустимим для систем керування.

Для збільшення запасів стійкості пропонується зменшити сталу часу $T_{кол}$, що забезпечить розширити область середніх частот ЛАЧХ з нахилом -20дБ/дек на частоті зрізу системи та забезпечити повільніший спуск ЛФЧХ до значення (-180^0). Для цього пропонується збільшити коефіцієнт передачі рульової машини в 4 рази, тоді отримаємо:



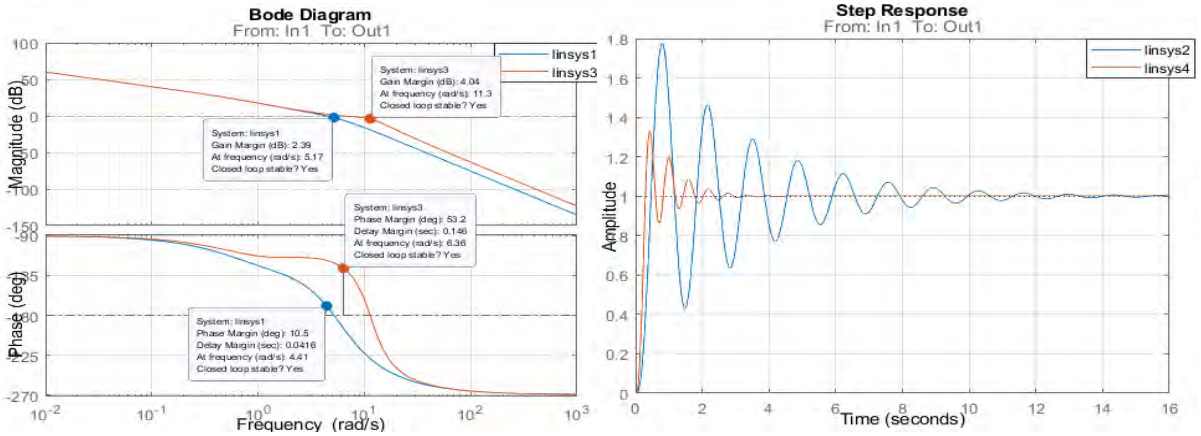
а) ЛАЧХ, ЛФЧХ б) перехідна характеристика

Рис. 1. Частотні характеристики розімкненої системи (а) та перехідна характеристика замкненої системи (б) до корекції.

$$T_{кол} = \sqrt{\frac{T_{рм}}{k_п \cdot k_{рм} \cdot k_{зз}}} = \sqrt{\frac{0,12}{10 \cdot 16 \cdot 0,1}} = 0,086$$

$$\varsigma = \frac{1}{k_п \cdot k_{рм} \cdot k_{зз} \cdot 2 \cdot T_{кол}} = \frac{1}{10 \cdot 16 \cdot 0,1 \cdot 2 \cdot 0,086} = 0,363$$

В результаті стала часу $T_{кол}$ зменшилась вдвічі, але і коефіцієнт демпфування ς зменшився вдвічі. На рис. 2 наведено графіки частотних ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкненої системи і перехідної характеристики замкненої системи до і після змінювання параметру $k_{рм}$.



а) ЛАЧХ, ЛФЧХ б) перехідна характеристика

Рис. 2. Вплив зміни параметру $k_{рм}$ на частотні та перехідну характеристики системи (синій графік - $k_{рм}$=4; червоний графік - $k_{рм}$=16)

Як видно, запас стійкості за амплітудою збільшився до 4 дБ, а за фазою – до 53^0, тривалість перехідного процесу зменшилась до 3 с, перерегулювання зменшилось до 30%.

Але зменшення вдвічі показника згасання ς є недоліком такого підходу, тому що в області частоти $\omega_{êî\ ë} = 1/T_{êî\ ë}$ може відбуватись підсилення вхідного гармонічного впливу, Для збільшення показника ς пропонується застосувати корекцію шляхом охоплення коливальної ланки гнучким зворотним зв'язком (швидкісним зворотним зв'язком) через ланку з передатною функцією $W_{зз}^{*}(p) = k_{*} p$. В результаті отримаємо коливальну ланку з тим самим значенням сталої часу, але зі збільшеним значенням показника згасання:

$$W^{*}(p) = \frac{k_{кол}}{T_{кол}^{\ 2} \cdot p^2 + 2 \cdot T_{кол} \cdot p \cdot \varsigma + 1}$$

$$\frac{k_{кол}}{T_{кол}^{\ 2} \cdot p^2 + 2 \cdot T_{кол} \cdot p + 1 + k_{кол} \cdot k^{*} \cdot p}$$

$$\frac{k_{кол}}{T_{кол}^{\ 2} \cdot p^2 \cdot (2 \cdot T_{кол} \cdot \varsigma + k_{кол} \cdot k^{*}) \cdot p + 1}$$

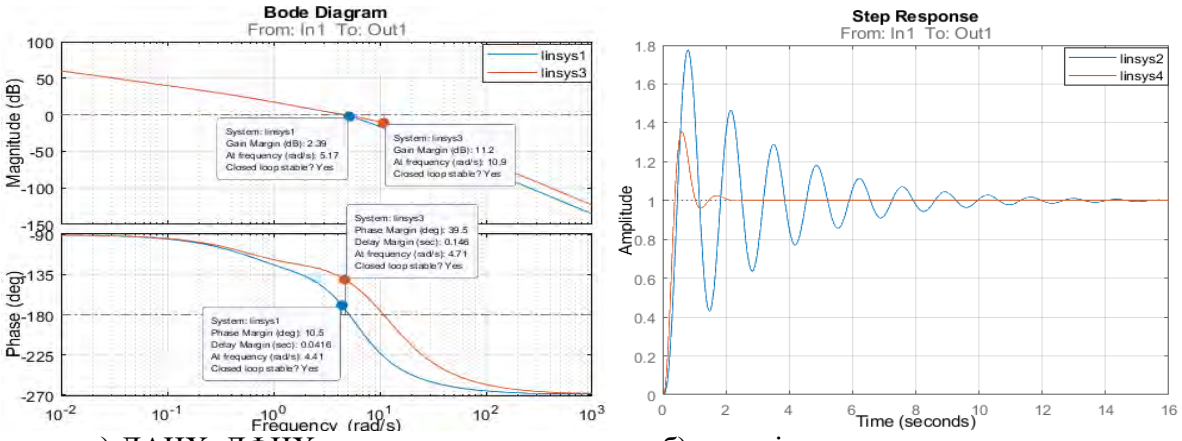
$$2 \cdot T_{кол} \cdot \varsigma + k_{кол} \cdot k^{*} = 2 \cdot T_{кол} \cdot \varsigma^{*}$$

$$\varsigma^{*} = \frac{2 \cdot T_{кол} \cdot \varsigma}{2 \cdot T_{кол}} + \frac{k_{кол} \cdot k^{*}}{2 \cdot T_{кол}} = \varsigma + \frac{k_{кол} \cdot k^{*}}{2 \cdot T_{кол}}$$

З останнього виразу визначимо значення коефіцієнта k^{*}, яке б забезпечувало значення показника згасання ς^{*}=0,9:

$$k^{*} = \frac{-2 \cdot T_{кол} \cdot (\varsigma - \varsigma^{*})}{k_{кол}} = \frac{-2 \cdot 0,086 \cdot (0,363 - 0,9)}{10} = \frac{0,092364}{10} = 0,0092$$

З урахуванням отриманого значення ς^{*} побудуємо ЛАЧХ, ЛФЧХ та перехідну характеристику (рис. 3).



а) ЛАЧХ, ЛФЧХ; б) перехідна характеристика

Рис 3. Вплив корекції на частотні та перехідну характеристики системи (синій графік – до корекції; червоний графік – після корекції)

Як видно з отриманих результатів, в результаті корекції збільшився показник згасання коливальної ланки, що забезпечило збільшення запасу стійкості за амплітудою більше, ніж в 4 рази (до 11,2 дБ) та краще згасання перехідного процесу (час перехідного процесу зменшився до 2 с, зменшилась кількість коливань). Для зменшення перерегулювання доцільно ще збільшити $k_{рм}$ з подальшою корекцією для збільшення показника згасання.

ВИСНОВОК

На основі моделювання проведено аналіз частотних та перехідної характеристик ситеми керування кутом курсу ЛА, який показав необхідність корекції для забезпечення прийнятних показників стійкості та якості перехідного процесу. На першому етапі змінюванням коефіцієнта передачі РМ було досягнуто розширення середньочастотної області ЛАЧХ та покращення показників якості перехідного процесу, але це супроводжувалось зменшенням показника згасання коливальної ланки. Для виправлення такого недоліку на другому етапі застосовано корекцію шляхом охоплення коливальної ланки гнучким зворотним зв‘язком. В результаті, скорегована система керування має більші запаси стійкості та кращі показники якості перехідного процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: Підручник. 2-ге вид., перер. і доп. / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К.: Либідь, 2007. – 656с.
[2] Мураховський С.А. Теорія автоматичного керування [електронний ресурс]: лабораторний практикум / С.А. Мураховський. – К.: НТУ «КПІ», 2012. – 30с.
[3] Методические указания по выполнению курсових и расчетно-графических работ по теории автоматического управления/ Сост. О.К. Федоров, И.И. Голубничий. – К.: КПИ, 1989. – 72 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф., в.о. зав. кафедри ПСОН Бурау Н.І.

УДК 004

Ляховецький О.О. студент гр ПГ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Анотація. У даній статті розглядаються сучасні технології в навчальному процесі. Висвітлено проблеми сучасного навчального процесу. Описується дистанційний вид навчання, як один з видів сучасного навчального процесу, його переваги та випадки де його найкраще використовувати. Наведено інформацію про існуючі системи, які забезпечують дистанційне навчання та супровід навчального процесу. Також більш детально зроблений огляд однієї з систем супроводу навчального процесу.

Ключові слова: дистанційне навчання, навчальний процес, автоматизована система супроводу навчального процесу, сучасні технології, Moodle.

ВСТУП

Використання сучасних технологій у системі навчання ставить нові завдання перед викладачами щодо організації навчального процесу, наприклад, необхідність зміни традиційної системи навчання, технологій, а також розробка нових рішень. Навчальна система повинна стати гнучкою, орієнтованою на якість навчання та динамічно змінюватися.

Сьогоднішня методика викладання передбачає, що викладач щорічно веде одні й ті самі лекції, малюючи однакові схеми, графіки, тощо. Це забирає багато аудиторного часу. Впровадження нових інформаційних технологій у навчання (лекції в електронному вигляді, презентації, інтернет-ресурси, автоматизовані системи навчання) збільшує ефективність та швидкість цього процесу, оскільки такі методи викладання краще засвоюються студентами [1].

Однією з нових та перспективних технологій є автоматизована система супроводу навчального процесу (АССНП). Вона може використовуватися для автоматизації навчального процесу, підготовки студентів, як з викладачем, так і без нього. За допомогою АССНП забезпечується навчання, керування навчальним процесом, підготовка навчальних курсів, тестування знань та результати навчання [2]. Сучасні АССНП в основному направлені на донесення теоретичної частини дисципліни, використовуючи теоретичний матеріал в електронному вигляді, презентаціях та медіа-файлах [1]. Саме тому необхідно провести огляд існуючого функціоналу, щоб визначити можливий напрямок розвитку подібних систем.

ДИСТАНЦІЙНЕ НАВЧАННЯ

АССНП можуть бути вдало впровадженими в дистанційне навчання. Дистанційне навчання (ДН) [3] – це навчання на відстані, коли викладач і студент розділені у просторі, а також усі або більша частина навчальних процедур здійснюється з використанням сучасних інформаційних і телекомунікаційних технологій.

ДН через інтернет [3] – це навчання, при якому значна кількість навчального матеріалу та взаємодія між викладачем та студентом відбувається за допомогою технічних, програмних засобів з використання глобальної мережі.

Інтерес у студентів до такого навчання постійно зростає. За даними IDC [3]

в США більше ніж 50% вищих навчальних закладів використовують дистанційні онлайн програми, як частину навчального процесу.

Особливістю ДН є надання студентам можливості самим організовувати свій навчальний час та отримувати знання, використовуючи різні інформаційні ресурси, такі як: різні бази даних, бази знань, комп'ютерні навчальні та контролюючі системи, відео- та аудіозаписи, презентації та електронні бібліотеки. Також використовуючи традиційні підручники та методичні розробки, створюється унікальне розподілене середовище навчання, яке є доступним кожному студенту [3]. При цьому проведення відеолекцій, відеоконференцій, можливість проведення частих консультацій з викладачем за допомогою телекомунікаційних систем, робить взаємодію між студентом та викладачем цікавішою ніж традиційна форма навчання. Крім цього, ДН також дозволяє спілкування між студентами за допомогою телекомунікаційних систем під час занять, що робить можливим проводити семінари та ділові ігри [3].

В останні роки досить сильно зросла популярність використання інтернет-технологій, як технологій для ДН. У першу чергу це викликано зростанням можливостей технічних засобів зв’язку та розповсюдженням комп’ютерної мережі інтернет. До переваг використання таких технологій можна віднести [3]:

- Можливість передачі файлів будь-якого формату та розміру.
- Можливість швидко змінювати інформацію зі свого робочого місця.
- Зберігання навчальної інформації в пам’яті комп’ютера на будь-який час, та редагування, обробка, друкування цієї інформації.
- Оперативний зворотній зв'язок.
- Можливість доступу до різних джерел інформації.
- Можливість реалізації різноманітних електронних конференцій, у тому числі в режимі живої трансляції, аудіоконференцій та відеоконференцій.
- Можливість спілкування з будь-яким користувачем, підключеним до мережі інтернет.
- Можливість перенести інформацію в офлайн та її обробка в зручний для користувача час.

Інтернет мінімізував часові, просторові та фінансові труднощі в розповсюдженні інформації.

Одним із важливих етапів будь-якого процесу навчання є етап перевірки знань. Результат на виході даного етапу говорить про готовність студента до подальшого вивчення того чи іншого матеріалу. На сьогодні існує декілька різних способів оцінки засвоєного студентом об’єму знань у межах ДН. Одним із найпростіших та найрозповсюдженіших способів є тестування. У більшості АССНП є можливість проведення тестів. Використання комп'ютерних технологій дозволяє викладачу творчо підходити до створення тестів, а рутинну перевірку відповідей студентів залишити на АССНП [1], що підвищує об’єктивність оцінювання.

Отже, АССНП має широкий спектр можливостей для використання в навчальному процесі, зокрема в умовах ДН.

ІСНУЮЧІ СИСТЕМИ

Існує досить великий вибір систем ДН, наприклад, Moodle, Google classroom, Edmodo, OnLineTestPad, iSpring Online та інші [4].

Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment, вимовляється «Мудл») [5] – це модульне об'єктно-орієнтоване динамічне навчальне середовище, яке називають також системою управління навчанням, системою управління курсами, віртуальним навчальним середовищем або просто платформою для навчання, яка надає викладачам, учням та адміністраторам дуже розвинутий набір інструментів для комп'ютеризованого навчання, у тому числі дистанційного. Moodle можна використовувати в навчанні школярів, студентів, при підвищенні кваліфікації, бізнес-навчанні, як в комп'ютерних класах навчального закладу, так і для самостійної роботи вдома.

Moodle – це програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, тобто таке програмне забезпечення можливо безкоштовно завантажувати, використовувати, та змінювати або розширювати. До плюсів можна віднести повністю безкоштовне використання, створення якісних курсів, можливість використання навчальної інформації в різних форматах – аудіо, відео, текст та інших.

Також в Moodle є можливість підключати різні додатки від інших користувачів, наприклад [4]:

Модуль відеоконференції.

Масові розсилання сповіщень.

Аудіо та відео чати, інші модулі.

До мінусів можна віднести [4]:

Для використання системи потрібен пристрій для розгортання (сервер або хостинг).

Moodle має досить високі системні вимоги.

Потребує детального вивчення, інтуїтивно не зрозумілий.

Іншим представником такого програмного забезпечення є Google Classroom [6] – це безкоштовний сервіс від Google створений для навчальних закладів з метою спрощення, поширення і класифікації завдань безпаперовим шляхом. Його основна мета – прискорити процес поширення файлів між викладачем та студентом.

Можливості сервісу [7]:

Створення свого класу/курсу.

Організація запису учнів на курс.

Ділитися з учнями необхідним навчальним матеріалом.

Запропонувати завдання для учнів.

Оцінка завдань учнів і відстеження їх прогресу.

Організація спілкування учнів.

Викладач може створити окремий клас зі свого облікового запису, при цьому створюється папка на його особистому Google-диску. Доступ до курсу для своєї аудиторії викладач може надати за допомогою ключа [7].

Завдання можна створювати за допомогою гугл-документів, у такому випадку система створить і відправить індивідуальні копії студентам. Є можливість задати

термін здачі для завдання. Коли студент здає готову роботу, викладач може повернути завдання на доопрацювання, або ж відразу виставити оцінку [7].

Спілкування з аудиторією реалізується шляхом створення оголошень, які можуть бачити всі студенти курсу. Також можна залишати коментарі до завдань конкретного студента в його файлі.

До мінусів даної системи можна віднести відсутність функціоналу для проведення тестування знань [7], тому користувачі створюють тести в іншому додатку від Google – Google Forms.

ВИСНОВОК

Проаналізовано навчальний процес сьогодення та виявлені аспекти, які можливо автоматизувати за допомогою сучасних інформаційних технологій. Одним із таких аспектів є поширення навчального матеріалу, який простіше та легше, а головне швидше поширювати за допомогою інтернету. Також контроль знань за допомогою тестування можливо полегшити за допомогою супровідних систем навчального процесу, які беруть на себе рутинну роботу.

У роботі розглянуто основні переваги та недоліки двох популярних автоматизованих систем дистанційного навчання, а саме: Moodle та Google Classroom.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Автоматизированная система обучения и оценки знаний / Чураков Д. А. — Режим доступа:www.URL:https://works.doklad.ru/view/5Oyn_El_mAg.html

[2] Автоматизированные системы обучения (АСО) и их виды — Режим доступа: www.URL:https://helpiks.org/5-7119.html

[3] Методические рекомендации по созданию курса дистанционного обучения через интернет / В.Канаво — Режим доступа: www.URL:http://www.curator.ru/method.html

[4] 6 систем дистанционного обучения: какую выбрать школе, репетитору, тренеру? / Сергей Золотухин — Режим доступа :https://www.eduneo.ru/3-besplatnye-sistemy-distancionnogo-obuchenia-obzor/

[5] About Moodle — Режим доступа: www.URL:https://docs.moodle.org/38/en/About_Moodle

[6] What are the design goals for classroom? — Режим доступа: www.URL:https://support.google.com/edu/classroom/forum/AAAAq1rTZJoLJO8SAlhQ1s/?hl=en&msgid=7_Kj06SBBwAJ&gpf=d/msg/google-education/LJO8SAlhQ1s/7_Kj06SBBwAJ

[7] Ульяна Палийчук “Дистанционное обучения с использованием Google Classroom, инструментов Microsoft и LMS-систем: Source LMS, Moodle и др.” URL:https://evergreens.com.ua/ru/articles/lms-comparison.html

Наук.керівник - к.т.н., доцент Цибульник С.О.

УДК 621.3.049.77

Музика Д.С., студент гр. ПГ-71, к.т.н., доцент Павловський О.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД МЕТОДІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ МОДУЛЯ MPU-6050

Анотація. В даній роботі, описуються основні характеристики модуля MPU-6050 та можливості щодо його налаштування. Розглядаються найбільш поширені методи обробки вихідної інформації, серед яких використання вбудованого процесора руху, та використання компліментарних фільтрів, а також їх основні недоліки та переваги в залежності від умов роботи модуля. Проведено дослідження якості вихідного сигналу в статиці для кожного з розглянутих методів.

Ключові слова: модуль, МЕМС, гіроскоп, акселерометр, комплементарний фільтр, інтерфейс, DMP, процесор, мікроконтролер.

ВСТУП

Перспективи сучасного приладобудування пов'язані з розробкою пристроїв, що поєднують в собі малу масу, габаритні розміри, енергоспоживання та собівартість при безвідмовному виконанні заданої функції з необхідною точністю. Одними із найбільш розповсюджених сучасних інерціальних вимірювальних перетворювачів, є мікроелектромеханічні системи (МЕМС) які складають одну суцільну систему мініатюрних конструкцій на одному кристалі, об'єднуючим чутливі, перетворюючі та електричні елементи. [1]

Невисока вартість та малі розміри призвели до великого поширення МЕМС та збільшення сфер їх використання. Однак, незважаючи на кількість переваг, в порівнянні з класичними гіроскопами та акселерометрами, мікромеханічні пристрої мають ряд недоліків, серед яких відносно невелика точність. Для часткового вирішення таких недоліків було розроблено ряд методів обробки вихідної інформації. Отже, метою даної роботи є порівняння методів обробки інформації для мікромеханічного чутливого елемента, на прикладі модуля MPU-6050 як найбільш поширеного, та дослідження ефективності їх роботи.

МОДУЛЬ MPU-6050

Модуль MPU-6050 найбільш поширеним мікромеханічним інтегрованим 6-осьовим пристроєм відстеження руху, що поєднує в собі 3-осьовий гіроскоп, 3-осьовий акселерометр і цифровий процесор руху (DMP). Завдяки наявності I2C шини, модуль має можливість приймати вхідний сигнал від зовнішнього 3-осьового компаса, що дозволяє збільшити максимальну кількість вимірюваних параметрів до 9. MPU-6050 також містить інтегрований датчик температури і при необхідності може оснащуватися датчиком тиску.

Так як інформація, що надходить від чутливих елементів подається в аналоговому вигляді, то в структурі модуля присутні шість 16-розрядних аналого-цифрових перетворювача для гіроскопа та акселерометра відповідно[2].

В залежності від умов роботи, користувач має можливість встановлювати, діапазон вимірювання величин. Для гіроскопів даний діапазон можк бути обраний в межах від ±250 до ±2000 °/с, для акселерометрів від ±2g до ±16g.

Для зв'язку регістрів модуля з зовнішніми датчиками MPU-6050 містить високошвидкісну I2C шину, що працює на частоті в 400 кГц [3]. Як працює в основному режимі, та режимі прямого проходження.

В основному режимі роботи I2C, модуль MPU-6050 працює в якості

ведучого пристрою він виконує опитування чутливих елементів із підключених зовні, або вбудованих у модуль датчиків(напр. датчик температури). При цьому, може виконуватися зчитування до 24 байт даних з 4 додаткових датчиків.

В режимі прямого проходження, ведучим пристроєм є підключений до модуля, зовнішній ПК, або мікроконтролер. В даному режимі роботи, логіка управління шиною на модулі є відключеною і повністю задається зовнішнім керуючим ядром.

При роботі з вихідними даними, необхідно враховувати різноманітні фактори які суттєво впливають на якість та точність вихідного сигналу. Конструктивні особливості приладів, різноманітні зовнішні чинники спотворюють вихідні сигнали модуля, в результаті чого використання отриманих даних в первісному вигляді не є можливим. З метою вирішення даної проблеми використовують різноманітні методи обробки вихідної інформації.

МЕТОДИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

При довгостроковій роботі з модулем MPU-6050, користувач, за рахунок дрейфу нуля, отримує вихідні дані з гіроскопів з доволі великою похибкою. Для зменшення впливу похибки на результуючий вихідний сигнал, виробник розробив власний, внутрішній цифровий процесор руху (DMP) із вбудованими алгоритмами, що розроблені фірмою Invensense.

Вбудований цифровий процесор руху є однією з головних переваг використання модуля MPU-6050, головною метою якого зчитування даних акселерометрів, гіроскопів та додаткових зовнішніх датчиків з вбудованих регістрів або буферу, з подальшою їх обробкою [4]. В процесі обробки, DMP об’єднує отримані дані з акселерометра та гіроскопа з метою мінімізації впливу похибок властивих кожному датчику. Для спрощення роботи з DMP, користувачу надається ряд спеціально розроблених бібліотек, що дозволяють виконувати різноманітні операції розрахунку та перетворень, використовуючи готові функції. Однією з найбільш поширених бібліотек для роботи з DMP є “MPU6050_6Axis_MotionApps20.h”.

В процесі обробки даних, DMP подає отримані з ЧЕ данні у вигляді кватерніонів і при необхідності, здатний виконати їх перетворення в кути Ейлера. Кватерніоном називають гіперкомплексне число вигляду:

$$q = w + x \cdot i + y \cdot j + z \cdot k \qquad (1)$$

де w, x, y, z - дійсні числа, які в сукупності називають параметрами Родріга-Гамільтона; i, j, k - уявні одиниці.

Окрім цього, існує також ряд інших операцій, дізнатися про які можливо при більш детальному розгляді бібліотеки. Однак, для отримання необхідного результату достатньо використати лише декілька основних функцій. Функція *dmpGetQuaternion* виконує зчитування пакетів даних, що містять в собі значення дійсних чисел кватерніона з вбудованого буферу. Як приклад, на рисунку 1 зображено формат внутрішнього буфера з якого виконується зчитування даних.

Рисунок 1. Формат внутрішнього буфера

Другою, не менш важливою особливістю використання бібліотеки, є функція розрахунку окремих елементів ортогональної матриці отриманої при переході від кватерніона, *dmpGetGravity*. Результуюча ортогональна матриця матиме вигляд:

$$R = \begin{pmatrix} w^2 + x^2 - y^2 - z^2 & 2xy - 2wz & 2xz + 2wy \\ 2xy + 2wz & w^2 - x^2 + y^2 - z^2 & 2yz - 2wx \\ 2xz - 2wy & 2yz + 2wx & w^2 - x^2 - y^2 + z^2 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Використовуючи елементи ортогональної матриці та кватерніон можливо знайти необхідні кути орієнтації. В програмі дане рішення виконується шляхом використання функції *dmpGetYawPitchRoll*, в якій закладений алгоритм розрахунку всіх трьох кутів орієнтації:

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \psi \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan\left(\dfrac{2(wx + yz)}{\sqrt{(2(xz - wy))^2 + (w^2 - x^2 - y^2 + z^2)^2}} \right) \\ \operatorname{atan}2(2xy - 2wz, 2w^2 + 2x^2 - 1) \\ \arctan\left(\dfrac{2(xz - wy)}{\sqrt{(2(wx + yz))^2 + (w^2 - x^2 - y^2 + z^2)^2}} \right) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Таким чином, показано, що використовуючи лише основні функції бібліотеки "MPU6050_6Axis_MotionApps20.h" для DMP, можливо розробити програмне забезпечення для опитування датчиків модуля MPU-6050 та мінімізувати вплив зовнішніх збурень та дрейфу нуля гіроскопів.

Однак, використання DMP має деякі недоліки, одним з яких є доволі великий об'єм займаної при розгортанні бібліотеки "MPU6050_6Axis_MotionApps20.h" пам'яті, що накладає ряд обмежень для його фізичного використання, відтак, можемо сформулювати рекомендацію, про використання мікроконтролерів з об'ємом Flash-пам'яті більше ніж 32 кБ.

За відсутності необхідності отримання максимально можливої точності вихідний даних при роботі з MPU-6050, або по причині невеликого об'єму памяті мікроконтролера, для обробки сигналів модуля, як один із розповсюджених варіантів, можливо використовувати комплементарний фільтр.

Призначення комплементарного фільтра полягає у ліквідації помилки інтегрування при визначенні кутової координати з використанням мікромеханічних гіроскопів [5].

При побудові приладів для вимірювання куту нахилу різних об'єктів відносно гравітаційного поля Землі в якості чутливого елементу можливо використовувати акселерометр, або гіроскоп. У випадку використання

мікромеханічного гіроскопа, визначення кута нахилу основи приладу, можливо виконати за допомогою дискретного інтегрування визначеної гіроскопом швидкості обертання. У отриманому сигналі, як описано вище, однією із складових, що суттєво впливають на точність вихідного сигналу є дрейф нуля, який полягає у невідповідності величини вихідного сигналу значенню нуля ММГ при зупинці процесу його обертання. Окрім цього, застосування процедури дискретного інтегрування, в залежності від методу, також накладає свої спотворення.

У випадку застосування акселерометра для визначення кута нахилу об'єкту, достатньо виконати нескладні геометричні перетворення до його показів, що досить точно дозволяє визначити кути нахилу приладу, однак лише в стані спокою. При впливі зовнішніх прискорень (вібрації, рухи, удари) виникають похибки, що суттєво впливають на точність. Для очистки вихідного сигналу акселерометра, у найпростішому випадку, можливо застосувати фільтр низьких частот (ФНЧ), проте використання ФНЧ для показів гіроскопа не ефективне.

Так виникає ідея об'єднати дані акселерометра та гіроскопа для усунення їх недоліків. Дане об'єднання можливо виконати, якщо використати комплеметарний фільтр наступного вигляду:

$$angle = (1 - K) \cdot gyrData + K \cdot accData \qquad (4)$$

де $angle$ - відфільтрований кут нахилу; $gyrData$ - вимірювана кутова швидкість; $accData$ - значення кута нахилу за показами акселерометра; K - коефіцієнт фільтра.

Враховуючи величини накопичення похибок та дрейфу нуля, виконується підбір значення коефіцієнту фільтрації. В результаті, відфільтрована величина кута нахилу є сумою значень інтегрування гіроскопа та акселерометра.

Для порівняння ефективності розглянутих методів обробки інформації було проведено практичне дослідження з використанням плати Arduino Uno, модуля MPU-6050, програмного середовища Arduino IDE, та MATLAB.

При дослідженні методу обробки інформації з використанням цифрового процесору руху, для його налаштування був розроблений програмний код на основі розглянутої бібліотеки "MPU6050_6Axis_MotionApps20.h" розмір якого склав 13 кілобайт або 40% від загального об'єму Flash-памяті мікроконтроллера. Зчитування даних з MPU-6050 виконувалося протягом однієї години в сттичному режимі. Отримані дані були оброблені в програмному середовищі MATLAB та виведені у вигляді графіка коливань нуля на рисунку 2, а.

При досліджені методу обробки інформації з використанням комплементарного фільтру була розроблена модель даного фільтра у вигляді програмного коду в середовищі Arduino IDE. Розмір програми склав 8 кілобайт, або 23% від загального об'єму Flash-памяті мікроконтролера. Зчитування даних з MPU-6050 так само виконувалося протягом однієї години. Отримані дані у вигляді графіка коливань нуля представлені на рис. 2 б.

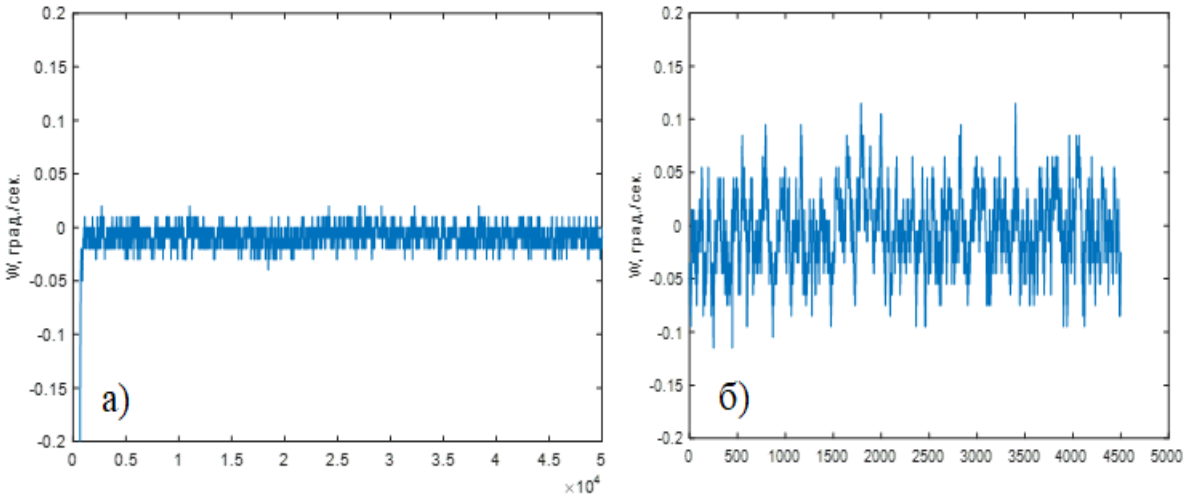


Рисунок 2. Графіки коливань нуля по осі Y для DMP та комплементарного фільтра

ВИСНОВОК

У роботі приведене порівняння різних алгоритмів обробки вихідного сигналу з ЧЕ модуля MPU-6050, розглянуто алгоритм обробки вбудованим цифровим процесором руху DMP, та обробки за допомогою компліментарного фільтра. Проведені експерименти у статичному режимі показали ефективність використання DMP приблизно у п'ять разів, що приведено на рис. 2. Проте, використання бібліотеки "MPU6050_6Axis_MotionApps20.h" для DMP зайняло майже 40% від всієї доступної Flash-пам'яті МК платформи Arduino, що майже у двічі більше у порівнянні із алгоритмом компліментарного фільтру. У подальшому планується порівняти ефективність зазначених алгоритмів при рухомій основі, а також їх ефективність при використанні різних МК.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Растопов В.Я. Микромеханические приборы : [Учебное пособие]. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 ст.

[2] MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4 / InvenSense Inc. Режим доступу: www.URL:https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf – 19.08.2013 p.

[3] Ziemann, V. A Hands-On Course in Sensors Using the Arduino and Raspberry Pi : tutorial / V. Ziemann – P. : CRC Press, 2018. – 235 p.

[4] Awang Ahmad, Z. High Efficiency Gyrostabilizer Antenna Platform / Z. Awang Ahmad, S. Daud, M. Asmi Rolmi // Computational Science and Engineering : peer reviewed papers from the Third International Conference. – P. : Trans Tech Publications Ltd, 2018. – p. 42.

[5] John Garren F. Application of a modified complementary filtering technique for increased aircraft control system / John F. Garren, Frank R. Niessen // Nasa Technical Memorandum. – 1977. - p. 126.

УДК 629.7.05

Прозор Д.С., студент гр. ПГ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМИ ОРІЄНТАЦІЇ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Анотація. Стаття присвячена системам орієнтації, які керують рухом космічних апаратів. Оглянуто складність та необхідність застосування складних систем для покращення роботи штучних космічних об'єктів, що потребують високих гарантій в роботі, автономності та безпеці. Представлені основні існуючі системи орієнтації, які мають практичне застосування в даний час. Окремо проведений екскурс по системах активних магнітних, реактивних, гіросилових, маховикових, робастних системах орієнтації. Визначено основні переваги, недоліки та принципи застосування.

Ключові слова: орієнтація космічних об'єктів, системи орієнтації, магнітна орієнтація, гіросилові системи, маховикові системи, реактивні системи, робастні системи.

ВСТУП

Космічні об'єкти включають в себе: штучні супутники Землі та інших планет, орбітальні та міжпланетні станції, космічні кораблі та транспортні кораблі постачання. Усі ці об'єкти виконують такі поставлені задачі як спостереження та дослідження об'єктів космічного простору, моніторинг поверхні Землі та ретрансляція сигналів для цивільного та спеціального призначення. Такі космічні апарати мають технологічні системи керування, що забезпечують рух апарату по заданій траєкторії польоту та заданій кутовій швидкості відносно об'єктів спостереження.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

Вибір системи орієнтації виконується на основі наявної інформації про виконавчі елементи, ефективність, надійність, масу, вартість, енергоспоживання та алгоритм керування, тому є необхідність у визначенні головних ознак кожного з типів систем. Серед цих систем можна виділити п'ять найбільш актуальних типів:

- Активна магнітна орієнтація супутників.
- Реактивні системи орієнтації.
- Маховикові системи орієнтації.
- Гіросилові системи орієнтації.
- Робастні системи орієнтації.

Проведемо більш детальний огляд, що дасть можливість сформувати базові поняття про кожен з цих типів.

Магнітні системи орієнтації отримали широке застосування в малих супутниках. Вони дають можливість отримати найкращі результати за окремими критеріями. Принцип роботи таких систем полягає у взаємодії власного магнітного моменту супутника – керуючого або пасивного із зовнішнім магнітним полем, що приводить до створення керуючого механічного моменту. Складність алгоритмів керування залежить від потрібного режиму орієнтації. Тобто якщо потрібно забезпечити орієнтацію супутника відносно вектору H, то достатньо розмістити магнітометр для вимірювання його проекцій і звичайний обчислювач для формування кінцевих різниць і знаходження похідних вектору H. Якщо потрібно забезпечити інший режим орієнтації супутника потрібно знати

його положення відносно інерціальних осей. У такому випадку використовується комбінація різних датчиків та статичні методи обробки вимірювань. За рахунок цього такі системи досить дешеві, надійні, невеликі та використовують мало енергії або навіть взагалі її не використовують. Також ця система дає можливість вирішити проблему демпфування кутової швидкості супутника за рахунок гістерезисних стержнів. Отримуючи всі вищезазначені переваги, головним недоліком магнітних систем є обмеження в керуванні, що зумовлене природою виникнення керуючого моменту. [1-2]

Реактивні системи стали першими серед систем орієнтації, що отримали своє застосування на космічних кораблях. Такі космічні кораблі як «Восход», «Союз», «Аполлон» та «Шатл» були обладнані реактивними системами орієнтації. Виходячи з назви, виконавчими органами таких систем є реактивні двигуни. Головними принципами для повної орієнтації космічного апарату є необхідність керування кутовими швидкостями реактивних двигунів навколо трьох осей та їх розташування на великому плечі відносно центра мас. Для забезпечення незалежного керування навколо трьох осей потрібно використовувати щонайменше шість двигунів. По принципу дії такі системи є релейними, тому для їх дослідження використовується метод фазової площини. Перевагою таких систем є те, що витрати палива пропорційні зовнішньому збурюючому моменту і не залежать від початкових умов, що забезпечує ефективну економію реактивного палива. Проте реактивний двигун не може одночасно розвивати велику тягу та мати малий імпульс реактивного двигуна, для забезпечення необхідної стабілізації, тому на борту встановлюються різні додаткові системи: одні для швидких поворотів з великою тягаю, інші – для тривалої стабілізації з відносно малою тягою і відповідно імпульсом.

Маховикові системи мають широке застосування на невеликих супутниках, а керування положенням відбувається за допомогою обміну кінетичного моменту між інерційно-обертаючими масами та корпусом цього апарату. Вимірювання кінетичного моменту виконується за рахунок регулювання швидкості обертання маховиків. На відміну від реактивних систем з їх реактивними двигунами та паливом, у маховикових системах використовується електроенергія, що поповнюється на комічному об'єкті від сонячних батарей. Тому актуальність застосування такої системи буде визнано в тому випадку, якщо сумарна маса маховикової системи, що включає маховики, сонячні батареї, перетворювачі та пристрої керування, менше ніж маса реактивної системи з усіма запасами реактивного палива. Особливою перевагою маховикових систем є висока точність стабілізації, яка в свою чергу не залежить від підвищення використання електроенергії.

У гіросилових системах орієнтації керуючими органами є двохстепеневі силові гіроскопи-гіродіни. Застосування таких систем відбувається на великих космічних апаратах та об'єктах, що здійснюють швидкі маневри відносно центра мас. Ефективність таких систем росте зі збільшенням моментів інерції космічного апарату. Принцип дії цих систем заснований на законі збереження моменту кількості руху. Керування кутовим положенням космічного апарату складається з трьох етапів: визначення вектору стану об'єкту, обчислення

вектору керування як функції вектору стану та перетворення вектору керування в керуючий момент. У той час, коли гіросилові системи є більш складними в конструкції (порівняно з двигунами-маховиками) її використання вважається актуальним, коли встановлення гіродінів забезпечує значну перевагу по масі та енергоспоживанню системи. [3]

Робастні системи розраховані на роботу космічного об'єкту в умовах повної або часткової невизначеності вхідних параметрів збурення. Під час проектування оптимальної системи проводяться спрощення моделі, або, навіть, не завжди відомі всі можливі зовнішні збурення, в умовах яких буде працювати сам об'єкт керування. У такому випадку системи з неповністю визначеною моделлю працюють не точно або взагалі стають не стійкими. Системи керування, що можуть утримувати свої динамічні характеристики в заданих межах при обмежених варіаціях реального об'єкта отримали назву робастних. Принцип реалізації такої системи полягає в синтезі такого робастного регулятора, що задовільнив би критерії для системи із зовнішнім збуренням. Робастні системи можуть бути синтезовані за одним з критеріїв, що дозволить обрати переваги для необхідної роботи об'єкта. Ці критерії дають можливість одночасно працювати як з стійкістю так і з чутливістю системи, забезпечити гарантійну стійкість системи або працювати з широким класом невизначеностей. Одним з основних недоліків такого типу систем є складність формування параметрів об'єкта керування. [4]

ВИСНОВОК

Здійснений огляд та порівняння систем орієнтації космічних об'єктів дає можливість виділити основні переваги та недоліки кожного типу цих систем. Отже, виходячи з досліджень даної роботи можна зробити висновок, що найбільш оптимальною буде комбінована система орієнтації, яка включатиме в себе переваги та мінімізуватиме недоліки систем, що будуть включені в це об'єднання. Також важливим аспектом для визначення типу системи є розуміння обставин та особливостей роботи космічного апарату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Овчинников М. Ю., Ролдугин Д. С. Современные алгоритмы активной магнитной ориентации спутников / *Исследовательский центр Институт* прикладной *математики им. М. В. Келдыша РАН* // *Ракетно-космическая техника*. — 2019. — № 2. — С.73-82.

[2] Овчинников М.Ю., Пеньков В.И., Ролдугин Д.С., Иванов Д.С. Магнитные системы ориентации малых спутников / *М.: ИПМ им. М.В. Келдыша*, 2016. 366 с.

[3] Васильев В.Н. Системы ориентации космических аппаратов / В.Н. Васильев. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – 310 с.

[4] Поляк Б. Т. Робастная устойчивость и управление / Б. Т. Поляк,П. С. Щербаков. – М. : Наука, 2002. – 303 с.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Мураховський С.А.

УДК 629.058: 623.465.34:531.383

Г.Ю. Строкач, студент гр. ПГ-01мн, к.т.н., Головач С.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, АТ «Елміз»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ БАЛАНСУВАННЯ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ КОРІОЛІСОВОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПА ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕДУР ВИМІРЮВАННЯ

Анотація. У даній роботі розглянуто існуючий метод вимірювання параметрів дебалансу металевого резонатору чутливого елементу коріолісового вібраційного гіроскопа. Проаналізовано чинники які впливають на точність вимірювання та запропоновано метод автоматизації процесу вимірювання.

Ключові слова: коріолісовий вібраційний гіроскоп, резонатор, балансування, автоматизація.

ВСТУП

Коріолісові вібраційні гіроскопи (КВГ) – тип гіроскопічних приладів, принцип роботи яких заснований на інерційних властивостях пружних хвиль, які генеруються у певної форми оболонках робочої маси шляхом збудження коливань на їх резонансних частотах[1]. Дані прилади мають конкурентні співвідношення собівартості і точностних характеристик гіроскопічних приладів у якості датчиків кутової швидкості або кута повороту, а також високі показники надійності, що надає їм певні переваги при використанні у складі систем навігації та стабілізації. Чутливим елементом (ЧЕ) таких датчиків є збірка елементів збудження з резонатором, який, як відомо, на даний час виготовляється або з металу, або з кварцу. Різниця у використанні цих матеріалів для виготовлення резонатора полягає у кінцевих вартісних і точностних показниках ЧЕ і гіроскопа в цілому. Резонатори з кварцу, при певних умовах, можуть забезпечувати для гіроскопічного датчика одні з найкращих на даний момент вимірювальні характеристики, але через складність і невисоку технологічність виготовлення вимагають використання надзвичайно дорогого спеціалізованого обладнання та порівняно великих затрат часу. На відміну від кварцових резонаторів, металеві є значно простішими у виготовленні, також вимагають сучасного обладнання, проте більш стандартизованого, що робить їх технологічнішими, з нижчими, ніж у кварцових, проте досить високими вихідними характеристиками.

Найпоширенішою формою резонаторів для КВГ середнього та високого класу точності є тіла обертання, тобто циліндричні та сферичні [2-4] оболонки, проте існують гіроскопи, що побудовані на резонаторах з балочною формою [5]. При виготовленні ЧЕ для гіроскопів на базі таких резонаторів з'являється проблема розчеплення їх резонансної частоти внаслідок дебалансу мас, усунення якої вимагає операцій балансування. Відомі методи балансування, наприклад [3,6], передбачають ітераційний підхід до усунення дебалансу мас, що у свою чергу призводить до необхідності затрат часу на проведення вимірювань у кожній ітерації балансування. Автоматизація таких вимірювань є актуальною при виготовленні КВГ у промислових масштабах тому, що значно зменшує затрати часу, а отже і вартість виготовлення кожного датчика.

МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ ПО ЧЕТВЕРТІЙ ГАРМОНІЦІ ДЕБАЛАНСУ

Головною характеристикою, що визначає якість коріолісового вібраційного гіроскопа, є добротність – параметр коливальної системи, що визначає ширину резонансу та характеризує, у скільки разів запаси енергії у системи більше, ніж витрати енергії за один період коливань[2]. Через неточності виготовлення резонатори мають несиметричність розподілення мас в тілі обертання, що призводить до появи в них явища розщеплення частот. Розщеплення частот негативно впливає на кінцеві точностні характеристики приладу і, як зазначено вище, виникає необхідність компенсувати негативний вплив розщеплення для чого виконується балансування.

Балансування – процес спрямований на зменшення впливу дебалансу мас у чутливому елементі до прийнятних значень шляхом зміни маси резонатора у відповідних його точках. Критеріями оцінки дії дебалансу мас є різночастотність, різнодобротність та кути осей максимальної і мінімальної добротності. Визначення перерахованих параметрів відбувається для резонатора у складі чутливого елементу, що представляє собою збірку резонатора з елементами збудження і знімання інформації. Елементи збудження і знімання можуть бути як п’єзокерамічними так і електростатичними [3, 7]. Передача та знімання сигналів на циліндричному резонаторі виконується через електроди на попарно з’єднані елементи. На рис.1 схематично зображено передачу сигналу збудження на елементи A1-A2 і знімання сигналу, що відповідає амплітуді коливань з елементів C1-C2.

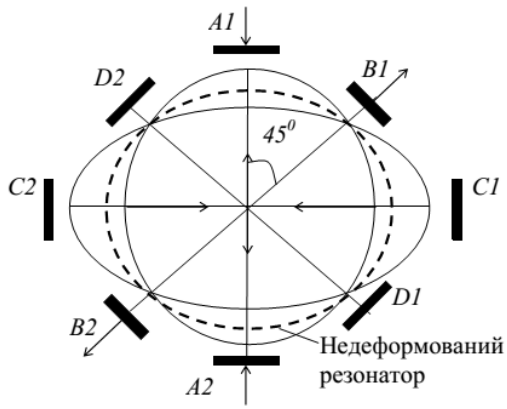


Рисунок 1 – Схематичне зображення елемента чутливого (збірки резонатора з елементами збудження і знімання)

Вимірювання параметрів дебалансу у процесі балансування потребує оперативного змінення режиму функціонування елементів зі збудження на знімання і навпаки, тому для таких потреб як правило розробляється спеціальний електронний блок перемикання. Пари електродів збудження і знімання у випадку, що розглядається (рис.1) розташовуються під кутом 45˚ відносно один одного. Сигнал збудження виробляється генератором частот, який генерує напругу з частою, яка відповідає резонансній частоті резонатора. Вихідні напруги вимірюються за допомогою мультиметрів, а їх фазність визначається осцилографом. В цілому весь алгоритм вимірювання параметрів дебалансу можна розподілити на наступні операції[3]:

- подача близької до резонансної частоти з генератора частот на пару елементів збудження A1-A2;
- знаходження першої (у даних умовах середовища) резонансної частоти F_{R1} за критерієм максимальної амплітуди U_B, виміряної на елементах B1-B2;

- фіксація фазності або протифазності сигналів на елементах A1-A2 та B1-B2;
- подання збуджуючого сигналу на пару елементів, які розташовані під 45˚ до попередньої пари збудження – елементи B1-B2 та вимірювання амплітуди і частоти коливань через елементи C1-C2;
- знаходження другої резонансної частоти F_{R2} за критерієм максимальної амплітуди U_C;
- фіксація фазності або протифазності сигналів на елементах B1-B2 та C1-C2;
- знаходження частот F_{1q} та F_{2q}, які виникають при напругах $0{,}707 \cdot U_B$ та $0{,}707 \cdot U_C$.
- розрахунок на основі отриманих у попередніх операціях значень:
  - різночастотності ΔF;
  - кутів осей максимальної добротності φ_{Q1} та φ_{Q2} відносно осі A1-A2;
  - добротності Q_1 та Q_2;
  - різнодобротність ΔQ.
  - розрахунок мас дебалансу та кутів вибірки мас.
- вибірка мас шляхом механічної обробки резонатора.

Отримання достовірних результатів вимірювання вищезазначених параметрів у виробництві досягаються за допомого прецизійних приладів. Так, похибка задання частот повинна бути не більше $1 \cdot 10^{-3}$ Гц, а похибка вимірювання напруг – не більше $1 \cdot 10^{-4}$ В.

Перевагою описаного методу вимірювання параметрів чутливого елементу при балансуванні є висока точність вимірювання при наявності прецизійної апаратури. Недоліком такого методу є витрати часу на визначення параметрів, оскільки оператору необхідно виконувати значну кількість операцій регулювання пов'язаних зі знаходженням резонансних частот та амплітуд.

Сам процес балансування відбувається з послідовним зняттям невеликої маси в чотирьох точках резонатора й кількість операцій зняття мас може досягати 10-30 разів, а за деякими методами 100-200 разів. Причому, після кожної ітерації зняття мас необхідно проводити нове вимірювання параметрів дебалансу. Враховуючи, що вимірювання проводяться оператором, який виконує значну кількість операцій регулювання, можуть з'явитись похибки пов'язані з помилкою фіксації оператором значень, з яких вираховуються параметри. Також присутня похибка, що виникає через значний час вимірювання параметрів. Ця похибка характеризується тим, що у проміжку часу між фіксацію першої та другої резонансної частоти, перша частота може змінити своє значення через зміну температури навколишнього середовища й відпуску металу після механічних впливів. Описана похибка наявна також при вимірюваннях для визначення добротності.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗГЛЯНУТОГО МЕТОДУ БАЛАНСУВАННЯ

У розглянутому вище методі балансування найбільш трудоємким з точки

зору витрат часу та кількості дій оператора є, без сумніву, пошук резонансних частот, та частот на рівні 0,707 від амплітуд U_B та U_C. Як показує практика, оператору в середньому потрібно витратити близько 10 хвилин для визначення даних параметрів і внесення їх у електронну таблицю. З метою оптимізації даної операції було виконано розробку автоматизованої системи генерації частоти та знімання вихідної амплітуди.

Автоматизована система генерації частоти та знімання вихідної амплітуди для балансування передбачає той же алгоритм дій, який описано у методі балансування ЧЕ по четвертій гармоніці дебалансу, проте за задання вхідного збурення та його зчитування відповідає електронний блок, основними елементами якого є сигнальний мікропроцесор, ЦАП, АЦП та операційні підсилювачі. Сигнальний мікропроцесор формує цифровий сигнал гармонічних коливань з необхідною амплітудою. Даний сигнал подається на ЦАП та через підсилювач безпосередньо на елементи збудження коливань резонатора. АЦП через підсилювач отримує сигнал з елементів знімання на резонаторі та у вигляді цифрового сигналу передає його у сигнальний мікропроцесор, який у свою чергу через інтерфейс обміну даними RS-232 передає дані у операційну систему персонального комп'ютера через спеціально розроблене програмне забезпечення оператора (ПЗО). За допомогою даного ПЗО можливо також конфігурувати роботу описаного електронного пристрою таким чином, що оператору необхідно лише задати приблизне значення резонансної частоти ЧЕ, діапазон вимірювання, крок зміни частоти збудження, час вимірювання на кожному кроці, а також вказати обрати пари елементів ЧЕ для збудження і знімання. Загальний час вимірювання такої системи у одній ітерації балансування визначатиметься відповідно як добуток кількості точок частоти збудження та часу вимірювання на одній точці. Автоматична фіксація результатів на кожному кроці дає змогу будувати АЧХ по отриманим даним на елементах збудження B1-B2 та C1-C2 (рис.2). У середньому час визначення резонансних частот, частот на рівні на рівні 0,707 від амплітуд U_B та U_C, а також самих амплітуд U_B та U_C склав приблизно 1 хв. При цьому на основі таких отриманих даних також автоматично розраховувались такі похідні параметри як Q_1, Q_2, ΔQ, ΔF, φ_{Q1}, φ_{Q2} та, після визначення за допомогою осцилографа фазності або протифазності, параметри вибірки мас дебалансу якими у подальшому керується оператор для механічного втручання у конструкцію резонатора.

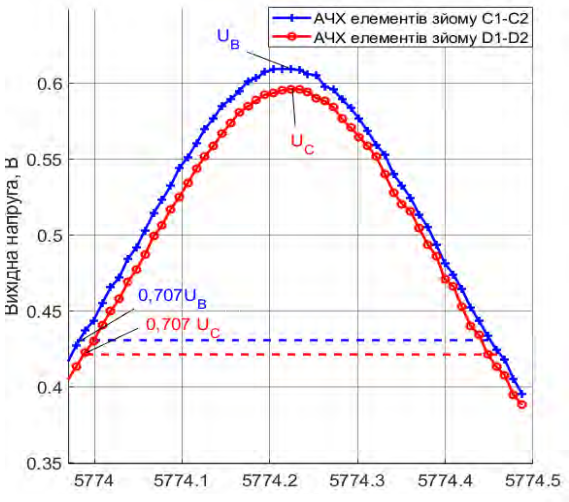


Рис.2 Графік зафіксованих значень АЧХ

ВИСНОВОК

У роботі розглянуто метод вимірювання параметрів дебалансу при балансуванні ЧЕ на основі металевого циліндричного резонатора по четвертій

гармоніці дебалансу. Зосереджено увагу на можливості оптимізації часу вимірювання даних параметрів, зокрема для запобігання виникнення похибок у процесі вимірювань, що залежать від часу їх виконання. Запроновано автоматизацію вимірювань шляхом розробки спеціальної автоматизованої системи генерації частоти та знімання вихідної амплітуди для балансування. При даному автоматизованому способі вимірювань параметрів дебалансу можливість виникнення похибок через неточність чи недостовірність фіксації параметрів ЧЕ оператором звелась до мінімуму. При цьому слід зазначити, що залишилась необхідність визначення фазності або протифазності за допомогою фіксації відповідних сигналів осцилографом. Розробка автоматизації вимірювання даного параметра планується у подальших роботах. В цілому описаний у даній роботі метод оптимізації операцій балансування продемонстрував високу ефективність та зменшення часу вимірювань при кожній ітерації балансування приблизно у 10 разів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] D.D. Lynch, "Coriolis vibratory gyros", in Proc. Gyro Technology Symposium, 21-23 September, 1998, Stuttgart, Germany, pp. 3.1-3.14.

[2] Zhinan Qiu, Tianliang Qu. Optical and Electrical Method Characterizing the Dynamic Behavior of the Fused Silica Cylindrical Resonator. Sensors 2019, 19, 2928; doi:10.3390/s19132928.

[3] Петренко, О. (2020). Удосконалення методів підвищення точності вібраційного гіроскопа з металевим циліндричним резонатором. (Дис. канд. техн. наук). Національний Технічний Університет України "Київський Політехнічний Інституті імені Ігоря Сікорського", Київ.

[4] Распопов В.Я., Волочихин И.А., Волочихин А.И., Ладонкин А.В., Лихошерст В.В, Матвеев В.В. Волновая твердотельный гироскоп с металлическим резонатором/ Аод ред. В.Я. Распопова. Тула: Издательство ТулГУ, 2018. – 189 с.

[5] Leger P. Quapason™ – A New Low-Cost Vibrating Gyroscope // Proceedings of 3rd Saint Petersburg International Conference of Integrated Navigation Systems. – 1996. - part 1. - pp. 143-149.

[6] Basarab, M.A., Lunin, B.S., Matveev, V.A. et al. Balancing of hemispherical resonator gyros by chemical etching. Gyroscopy Navig. 6, 218–223 (2015).

[7] Characterization of the Bell-Shaped Vibratory Angular Rate Gyro / N. Liu [et al.]. // Sensors. 2013. № 13. P. 10123 – 10150. DOI: 10.3390/s130810123.

Наук. керівник – к.т.н. Головач С.В.

УДК 681.586

Тищенко Б.Ю., студент гр. ПГ-п81
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МІКРОМЕХАНІЧНІ АКСЕЛЕРОМЕТРИ ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ ВІБРАЦІЙНИХ ТА УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Анотація. В роботі основні фактори, що впливають на точність вимірювання мікроакселерометрами. Аналізуються варіанти зменшення впливу вібраційних та ударних навантажень на чутливий елемент датчика. Запропоновано використання термічного акселерометра та розглянуто його принципову схему. проаналізовано технічні характеристики. Побудовано графіки частотних характеристик мікроакселерометра.
Ключові слова: МЕМС-датчик, акселерометр, динамічна модель.

ВСТУП

Якщо розглянути акселерометри у сфері, де на апаратуру чи систему діють вібраційні навантаження, або навіть ударні навантаження, то слід відзначити [2], що звичайні МЕМС-акселерометри (на поверхні кремнієвої підкладки вирощується мембрана і при виникненні прискорення в напрямку перпендикулярному мембрані, виникає деформація вгору або вниз і в залежності від цього ємність конденсатора збільшується або зменшується), в яких основним чутливим елементом (ЧЕ) є мікромеханічна інерційна маса, працюючи в таких умовах несуть за собою декілька негативних наслідків.

Найперший з них – при частоті, близькій до резонансу, виникає ефект постійного прискорення, коли мембрана без наявності реального прискорення буде мати деформований стан. По-друге, при наявності потужних вібрацій ЧЕ може зруйнуватися або деградувати. Деградація може початися і при значних ударних навантаженнях. По-третє, при поступовій деградації все калібрування, зроблене раніше, виявляється порушеним, і датчик починає видавати невірні показання. Остання - звичайні МЕМС схильні до старіння, як і всі рухомі механізми - це виражається в зменшенні чутливості з часом, особливо при наявності сильних прискорень протягом експлуатації.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є аналіз можливих конструктивних рішень для забезпечення роботи мікромеханічних акселерометрів в умовах інтенсивних вібраційних та ударних навантажень.

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ МІКОМЕХАНІЧНИХ ДАТЧИКІВ

Для боротьби із вищезгаданими негативними ефектами [3], що виникають при роботі МЕМС-датчиків в складних динамічних умовах, виробники мікромеханічних датчиків вдаються до різних конструктивних ускладнень. Розглянемо один з підходів, що полягає у кардинально іншій побудові чутливого елемента датчика і створенні термічного МЕМС-акселерометра. Елементарна комірка при цьому має герметичну структуру з нагрівачем і датчиками температури.

У спрощеному вигляді принцип роботи такої структури полягає в наступному: нагрівач створює нагрів молекул газу в камері, а два надчутливі датчики, які рознесені на визначену відстань, фіксують диференціальну

температуру цього газу. Навіть при найменшому прискоренні або повороті основи відбувається зміна числа молекул, що вдаряються об поверхню датчиків температури. Наприклад, при повороті чутливого елементу за годинниковою стрілкою кількість молекул, що потрапляють на датчик лівоворуч, зменшиться, а на датчик праворуч - зросте. По різниці показань можна визначити прискорення. Така система не має механічних рухомих частин, а отже теоретично вільна від виникнення резонансу і нечутлива до ударних навантажень.

Як висновок, дана структура базової комірки акселерометра має такі переваги:

• відсутність частоти резонансу і стійкість до вібрацій в широкому діапазоні частот;

• максимальна стійкість до ударних навантажень (до 50 000 g);

• немає ефекту залипання;

• температурна і часова стабільність;

• не вимагають особливої технології виробництва.

Розглянемо, наприклад, мікромеханічний акселерометр MXP7205VF [1], який вимірює прискоренні по двом взаємно перпендикулярним осям. Пристрій є повноцінною двовісною системою вимірювання прискорення, виготовленою на основі монолітного КМОП-процесора. Робота приладу заснована на передачі тепла шляхом природної конвекції та працює як інші акселерометри з інерційною масою, за винятком того, що це газ у датчику MEMS. Одне джерело тепла, сконцентроване в кремнієвій мікросхемі, підвішене через порожнину. Термоелементи з алюмінієм / полікремнієм з однаковою віддаленістю (групи термопар) розташовані на однаковій відстані з усіх чотирьох сторін джерела тепла (двовісна вісь). При нульовому прискоренні градієнт температури симетричний відносно джерела тепла, так що температура однакова на всіх чотирьох термополях, внаслідок чого вони видають однакову напругу.

Прискорення в будь-якому напрямку призведе до порушення температурного профілю через вільну конвекційну передачу тепла, що спричинить його несиметричність. Тоді температура, а отже, і вихідна напруга чотирьох термоелементів будуть різними. Диференціальна напруга на виходах термоелемента прямо пропорційна прискоренню. На MXP7205VF є два однакові шляхи сигналу прискорення, один для вимірювання прискорення по осі x та інший для вимірювання прискорення по осі y.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики акселерометра MXP7205VF

№ п/п	***Параметр***	***Значення***
1	Діапазон вимірювань	± 5 g
2	Номінальна чутливість (14 bit)	800 LSB/g
3	Номінальна чутливість (10 bit)	50 LSB/g
4	Температурний дрейф (в діапазоні від -40$^{\circ}C$ до +105$^{\circ}C$)	4%
5	Перехресна чутливість	2%
6	Дрейф нуля (в діапазоні від -40$^{\circ}C$ до +105$^{\circ}C$)	1mg/$^{\circ}C$
7	Вимірювальний шум (СКВ в діапазоні від -40$^{\circ}C$ до +105$^{\circ}C$)	11 mg

Передатна функція датчика може бути представлена у вигляді добутку передатної функції чутливого елемента та цифрового фільтра Батерворта 2-го порядку. Власні частоти ЧЕ складають - 40 Гц та 85 Гц, номінальна частота зрізу фільтра - 44 Гц:

$$W(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \cdot \frac{1}{(T_3 p + 1)^2}. \quad (1)$$

Частотні характеристики, побудовані на основі (1) представлені на Рис.1.

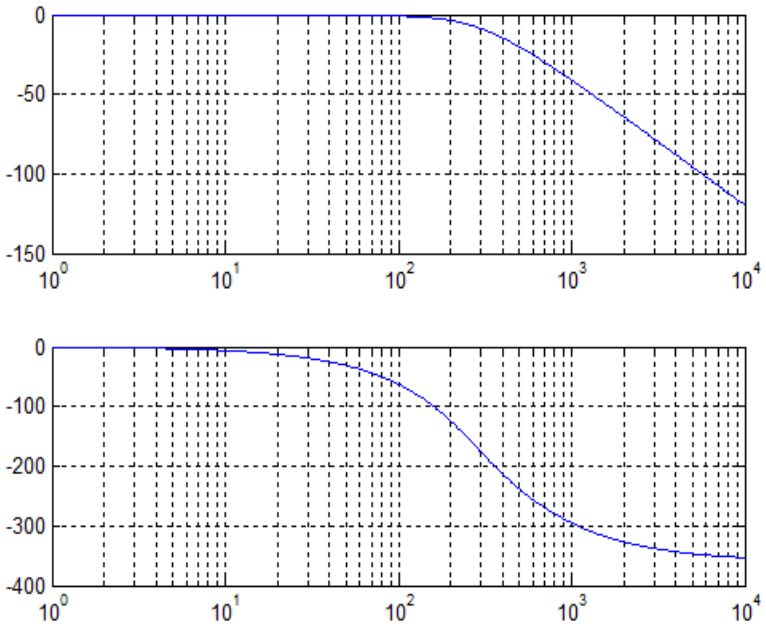


Рис. 1. Частотні характеристики датчика

ВИСНОВКИ

Смуга пропускання датчика на основі отриманих частотних характеристик складає від 0 до 150 рад/с. При високочастотних вібраційних навантаженнях датчик буде поводитись як фільтр низьких частот.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Технічна специфікація MXP7205VF: http://www.memsic.com/uploadfiles/2020/08/20200828130053176.pdf
[2] WEB-портал для разработчиков электроники https://www.terraelectronica.ru/news/4320
[3] WEB-портал для разработчиков электроники https://www.terraelectronica.ru/product/2195706

Наук. керівник – Мураховський С.А.

УДК 681. 51

А.К. Федоров, студент гр. ПГ-01мп, к.т.н., доцент. Мироненко П.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КЕРОВАНА МОДЕЛЬ НЕСТІЙКОГО МАЯТНИКА

Анотація. Побудовані і досліджені бажані режими роботи нестійкого маятника. Закони зміни напруги керування, при яких реалізується стійке положення нестійкого маятника, синтезуються у вигляді зворотних зв'язків.

Ключові слова: перевернутий маятник, нестійкий об'єкт, оптимальне управління, динамічний регулятор, спостерігач стану.

ВСТУП

На сьогоднішній день в багатьох дослідженнях поводження нестійкого маятника розглядається тільки проблема його стабілізації, а проблемам траєкторного управління приділялося менше уваги. Управління рухом по заданій траєкторії для механічних систем цього типу досить складна проблема, для якої ще існує багато відкритих невирішених завдань.

На практиці, траєкторне управління є не менш важливим, ніж проблема стабілізації, тому що виникає необхідність не просто вирішити тривіальну задачу переміщення з однієї точки в іншу, але при цьому система повинна також точно рухатися по заданій траєкторії. Рух по зазначеній траєкторії може бути необхідний для того, щоб уникнути перешкод або задовольнити іншим вимоги, які пред'являються для переміщення системи. Проблему траєкторного управління можна вирішити шляхом накладення додаткових вимог до траєкторії, яку потрібно відстежити.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження в даній роботі є розроблена та виготовлена фізична модель перевернутого маятника.

Метою роботи є розробка системи управління перевернутим маятником з подальшою оптимізацією параметрів об'єкта управління і дослідженням процесів в системі при русі по заданій траєкторії .

У роботі була спроектована і побудована модель нестійкого маятника та вирішена задача стабілізації механізму щодо гладкого відрізка заданої траєкторії. Запропоновано алгоритм управління траєкторних рухом, який усуває помилку відхилення механізму від заданих параметрів. Отримані в роботі результати можна рекомендувати до використання в системах управління двоколісних механічних систем різної конструкції, які повсюдно представлені в якості двоколісного транспорту пересування. Наведене в роботі узагальнення на використання алгоритму управління в тривимірному просторі можуть бути корисні при синтезі регуляторів для повітряних і підводних апаратів. Це актуально у військовій сфері, для підвищення характеристик новітніх систем.

В роботі в прикладному плані розглядається задача стабілізації перевернутого маятника при впливі одного керуючого моменту.

Рис.1. Керована платформа маятникової системи

Рис. 2. Перевернутий маятник на рухомій платформі

Проектування системи управління перевернутим маятником включало розробку регулятора стану з подальшою оптимізацією параметрів об'єкта управління. В якості регулятора стану розглядається модальний регулятор. Модальне керування відноситься до кореневих методів синтезу лінійних систем автоматичного управління. При малих відхиленнях маятника лінійний регулятор стану забезпечує стійкість положення рівноваги. Варто відзначити, що при використанні в якості регулятора стану оптимального регулятора процеси в системі аналогічні тим, що відбуваються в ході використання модального регулятора. Для дослідження основних показників системи, в першу чергу початкового кута відхилення маятника , була проведена побудова і оптимізація нечіткого регулятора за допомогою засобів математичного пакета MATLAB для дволанкової маятникової системи з використанням ANFIS-технології . Схема взаємодії функціональних вузлів керованого маятника представлена на рис.3.

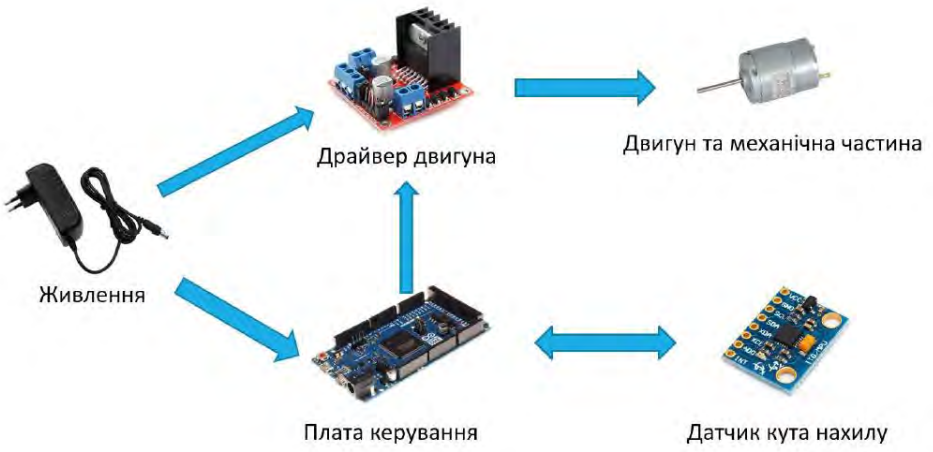


Рис. 3. Схема взаємодії функціональних вузлів керування маятником

Основними вимогами до характеристик функціональних елементів при виборі вимірювального пристрою були: здатність до виміру кута нахилу з необхідною точністю, доступність та масогабаритні характеристики. Для використання в макеті був обраний вимірювальний модуль GY-521, що має в своєму складі як акселерометр так гіроскоп. Мікросхема MPU6050 є головним елементом модуля. MPU6050 була закріплена у верхній точці перевернутого

маятника.

За допомогою цього датчика вимірюється кут відхилення маятника щодо вертикалі. При цьому акселерометр представляє собою пристрій, який вимірює проекцію уявного прискорення, тобто різницю між істинним прискоренням об'єкта та гравітаційним.

В роботі представлена загальна математична модель системи. За допомогою даної моделі можливе подальше дослідження подібних моделей з іншими параметрами об'єкта управління.

Для моделювання нестійкого маятника в процесі дослідження була також розроблена комп'ютерна модель системи в середовищі Matlab та Simulink. Для формування системи управління обрані модальний і оптимальний регулятор, що містять кожен по 4 зворотні зв'язки по повному вектору змінних стану. Так як в системі змінних стану мали місце змінні , безпосереднє вимірювання яких представляє складність, в роботі проведений синтез спостерігача пристрою. Основною метою синтезу модального і оптимального регуляторів було забезпечення стійкого перехідного процесу та дослідження якості управління маятниковою системою для оцінки точності регуляторів.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено експериментальне і теоретичне дослідження чутливості системи, що складається з рухомої платформи та перевернутим маятником на ній, до змін параметрів об'єкта. Зроблено висновок про точність побудованих регуляторів. При варіюванні параметрами об'єкту і регуляторів знайдені оптимальні значення параметрів системи керування, при яких спроектований перевернутий маятник стає стійким і відповідає вимогам до перехідного процесу при досить великому (до 300) початковому значенні кута відхилення маятника.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Андрієвський Б.Р. Глобальна стабілізацая нестійкого маятника з маховичним рівнянням / Б.Р. Андрієвський// УБС. – 2009. – 24. – С. 258-280.

[2] Колесников А.А. Метод синтеза системы управления перевернутым маятником с инерциальным маховиком / А.А. Колесников // Вестник ДГТУ, № 3-4, (72 – 73) , с.64 – 71, 2013.

[3] Панкин Д. А. Исследование комбинированных методов управления нелинейными неустойчивыми механическими объектами/ Д. А. Панкин, Н. В. Жукова // Наукові праці Донецького національного техн. університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, –2009. –16. –ст. 7-13.

Наук. керівник – к.т.н., доцент. Мироненко П.С.

УДК 681.2.088

Д.О. Феоклістов, студент гр. ПГ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ГІРОСКОПІВ

Анотація: Мікромеханічні гіроскопи які за принципом дії є вібраційними гіроскопами, мають високу чутливість до дії температури. Це в свою чергу призводить до необхідності компенсувати похибки викликані температурою. В роботі охарактеризовано вплив температури на похибки ММГ. Проводиться аналіз методів боротьби з температурним дрейфом.

Ключові слова: мікромеханічний гіроскоп, температурний дрейф, алгоритмічна компенсація.

ВСТУП

В останні роки мікромеханічні гіроскопи (ММГ) стали широко застосовуватися в різних областях техніки. Таку популярність вони отримали завдяки своїм малим габаритам та масі, низькій вартості та малому споживанню енергії. Дуже часто ММГ використовується в якості датчика кутової швидкості в складі інерційного вимірювального пристрою (ІВП).

В інерційно вимірювальному пристрої реалізовано три канали перетворення кутової швидкості, що дозволяють виконувати вимірювання проекції її на взаємно перпендикулярних осях приладної системи координат, що зв'язана з корпусом блока. ІВП частіше за все представляють з себе моноблочний корпус, в якому встановлюється три ММГ, в кожному з яких знаходяться мікромеханічні чутливі елементи перетворення кутової швидкості. До складу ІВП також входять плати джерела живлення, інтерфейсу та мікроконтролера.

Програмований мікроконтролер дозволяє корегувати показники ММГ з врахуванням вирахуваних систематичних похибок в режимі реального часу. В пам'яті мікроконтролера зберігаються алгоритми обробки та калібрувальні дані, які можуть бути багаторазово скореговані та перезаписані в процесі калібрування виробу.

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФУ

Зміщення нуля гіроскопа – це відмінність його показників від нульового значення при відсутності дії на нього кутових швидкостей. Дрейф нуля за якийсь відрізок часу визначається як різниця максимуму та мінімуму зміщення нуля (вирахуваного по низькочастотній складовій сигналу) на цьому відрізку.

В загальному випадку зміщення нуля має дві складові – початкове зміщення нуля та дрейф нуля. Зі сторони фізики причиною дрейфу нуля є зміна розмірів кремнієвих елементів та тиску всередині капсули через зміну температури. Ці фактори зумовлюють зміну власної частоти гіроскопів та, як наслідок, їх вихідних даних [1, 2]. Зміна температури залежить від впливу зовнішньої температури та внутрішнього нагріву датчика через близьке його розташування до термовідвідних компонентів. Останній указаний фактор особливо добре проявляється в пристроях які мають невеликі розміри, через обмежені можливості розміщення датчиків та організації відведення теплової енергії. Варто відмітити, що похибка має систематичну та випадкову складову. Алгоритмічно можливо компенсувати лише систематичну складову, в такому

випадку випадкова складова буде визначати значення похибки.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДРЕЙФІВ ММГ

При наявності в реальному часі інформації про температуру пристрою, для компенсації температурного дрейфу можна використовувати методи алгоритмічної компенсації температурного дрейфу. Вони дозволяють коректувати вихідний сигнал ММГ грунтуючись на показниках температури. При наявності високої кореляції вихідних сигналів ММГ та датчика температури систематична складова дрейфу нуля може бути зменшена на один або більше порядків.

В роботі [3] показано, що за рахунок алгоритмічної компенсації величину середньоквадратичного відхилення зміщення нуля вихідного сигналу ММГ можна знизити до 0,76 ^{0}/г в діапазоні температур від -30 до +80 ^{0}С. Крім того компенсація дозволяє зменшити нестабільність зміщення нуля до 0,35 ^{0}/г, виключаючи дрейф, викликаний температурою, тим самим збільшивши довгострокову стабільність вихідного сигналу.

Однією з переваг методів алгоритмічної компенсації є скорочення часу готовності пристрою до моменту включення живлення, крім того вказаний метод підходить для гіроскопів різної конструкції (RR, LL, з однією або декількома інерційними масами).

В методі використовується математична температурна модель вихідного сигналу гіроскопу, згідно якою в залежності від виміряної температури вираховуються правки, які далі враховуються при обрахунку справжніх значень абсолютної кутової швидкості.

Модель може грунтуватися на температурних залежностях окремих параметрів електронної та механічної частини гіроскопа. Через недосконаліть технології виготовлення чутливого елементу (ЧЕ) температурні залежності насправді відрізняються від тих що використовуються в аналітичній моделі. Крім того залежності опорних напруг, здвигів фаз між сигналами, які формуються в електронній частині, можуть варіюватися від пристрою до пристрою. Це завдає значний вплив на загальну точність вказаної моделі.

Моделі можуть бути отримані експериментальним шляхом за допомогою спеціальної процедури температурного калібрування, при якому традиційно окремо встановлюються залежності систематичної складової похибки зміщення нуля від температури. В такому випадку моделі представляються в вигляді калібрувальної таблиці «температура – вихідний сигнал», або в вигляді функцій інтерполяції або апроксимації (частково-неперервної, експоненціальної або поліноміальної). Крім того для різних температурних режимів можуть бути використані свої окремі температурні моделі.

Не дивлячись на малі розміри пристрою, розподіл температури в ЧЕ насправді є нерівномірним. В такому випадку теплове розширення проходить неоднаково, що призводить до появи температурного гістерезису залежності зміщення нуля ММГ [4]. Розмір петлі гістерезису залежить від діапазону вимірювання температури, напрямку та швидкості її зміни. Методи

температурної компенсації, в яких не враховується температурний гістерезис, не дозволяють зменшити похибку зміщення нуля менше, ніж на половину ширини гістерезису.

Важливою вимогою до використання методу температурної компенсації є висока повторюваність і постійність в часі температурних залежностей зміщення нуля та масштабного коефіцієнта, для чого температурні залежності визначаються при однакових багаторазових діях. При не дотриманні цих вимог достовірність температурної моделі знижується, тому в деяких випадках її використання при компенсації стає недоцільною.

Відома також робота [5], в якій пропонується компенсувати вплив температури на вихідний сигнал двухмасового гіроскопа прямого типу перетворення не з допомогою інформаційної корекції безпосередньо вихідного сигналу ММГ, а шляхом підлаштовування параметрів системи керування рухом інертної маси гіроскопа. Враховуючи, що масштабний коефіцієнт ММГ визначається амплітудою первинних коливань, то за рахунок їх зміни в залежності від температури і пропонується проводити його корекцію. В діапазоні температур від -40 до +60 ^{0}C температурний коефіцієнт масштабного коефіцієнта вдалося знизити в 2,7 рази.

ВИСНОВКИ

У статті розглянуто декілька методів боротьби з температурним дрейфом мікромеханічних гіроскопів. Описано дію температури на вихідний сигнал ММГ. Проводиться аналіз розглянутих методів боротьби з температурними похибками. Розглянуто можливість застосування сучасних методів вирішення задачі температурної компенсації параметрів ММГ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Лысенко И. Е. Влияние температурных и технологических погрешностей на динамику трехосевого микромеханического гироскопа // Гироскопия и навигация. 2006. № 2. С. 6.

[2] Вторушин С. Е., Аршинова А. А., Нестеренко Т. Г. Температурный дрейф собственных частот микромеханического гироскопа // Вестник науки Сибири. 2014. № 1. С. 3–5.

[3] Johnson B. Tuning fork MEMS gyroscope for precision northfinding / Johnson B., Christ K., Endean D., Mohr B., Supino R., French H., Cabuz E. // DGON Inertial Sensors and Systems Symposium. – 2015. – С. 1-10.

[4] Gulmammadov F. Analysis, modeling and compensation of bias drift in MEMS inertial sensors // 4th International Conference on Recent Advances in Space Technologies. – 2009. – С. 591-596.

[5] Cao H. A novel temperature compensation method for a MEMS gyroscope oriented on a periphery circuit / Huiliang Cao, Hongsheng Li, Xia Sheng, Shourong Wang, Bo Yang, Libin Huang // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – Т. 10. – С. 1-10.

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

УДК 681.518.22

А.В. Хворостян, В.І. Савенко, Є.М. Яковенко, студенти гр. ПГ-п91,
к.т.н., доц. Заморський О.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЯК ВИКОНАВЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ

Анотація. В даній статті приведені результати експериментальних досліджень регулювальних та механічних характеристик мікродвигунів постійного струму з постійними магнітами з якірним керуванням як виконавчих елементів приводу малогабаритної лабораторної обертової платформи. Представлена методика експериментального визначення параметрів мікродвигунів постійного струму, в тому числі через непрямі вимірювання. Визначаються реальні номінальні параметри мікродвигунів постійного струму ДМ-1,6-8 при нормальних навколишніх умовах (+20°С), оцінюється зміна електричного опору обмоток ротора (якоря) від їх самонагрівання при збільшені значень номінальної напруги і навантаження та зміна моментів тертя при збільшені номінальних обертів. По результатам дослідження наведені рекомендації щодо застосування мікродвигунів постійного струму ДМ-1,6-8 в автоматизованих лабораторних пристроях.

Ключові слова: виконавчі елементи автоматизованих систем; мікродвигуни постійного струму; регулювальні та механічні характеристики керованих мікродвигунів; малогабаритні автоматизовані лабораторні пристрої.

ВСТУП

Електричні приводи автоматизованих систем є чи не найпоширенішими в приладобудуванні через їх якісні властивості, в першу чергу через гнучкість характеристик керування, яка значно зросла з розвитком комп'ютерно-інтегрованих технологій. Такі приводи забезпечують широкий діапазон обертових моментів, швидкостей та потужностей. Серед електричних машин мікродвигуни постійного струму вирізняються лінійними регулювальними і механічними характеристиками, що значно спрощує керування. Для належного вибору мікродвигунів необхідне знання їх технічних характеристик, які не завжди повно представлені в супровідній технічній документації. Наприклад, інформація про мікродвигун постійного струму ДМ-1,6-8 (розробка СРСР), який через високі експлуатаційні характеристики довгий час застосовується в приладобудуванні, вичерпується наступними характеристиками: номінальні значення обертів $n_{ном}$ = 8000 об/хв, обертового моменту $M_{ном}$ = 1,96 мН·м, вихідної потужності $P_{2ном}$ = 1,6 Вт, струму $I_{ном}$ = 0,3 А; ефективність η = 20%; напруга живлення $U_{ж}$ = 27 В. В процесі експлуатації мікродвигунів для належного керування необхідно чітко контролювати параметри, які можуть змінюватися через зміну енергетичних та механічних навантажень (нагрівання обмоток ротора, зміна моментів тертя, тощо) та через їх обмежений ресурс. В роботі представлені методика експериментального визначення характеристик мікродвигунів постійного струму, результати дослідження мікродвигунів ДМ-1,6-8 та оцінка їх властивостей і можливостей як виконавчих елементів автоматизованих лабораторних пристроїв.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджувались три мікродвигуни ДМ-1,6-8 в таких режимах: холостого ходу і короткого замикання; в складі приводу з редуктором, утвореним зубчатою і черв'ячною передачами; в складі обертової платформи з конічним валом, пов'язаним з редуктором через компенсаційну муфту; в робочому режимі з корисним навантаженням на платформі (див. рис. 1) [1].

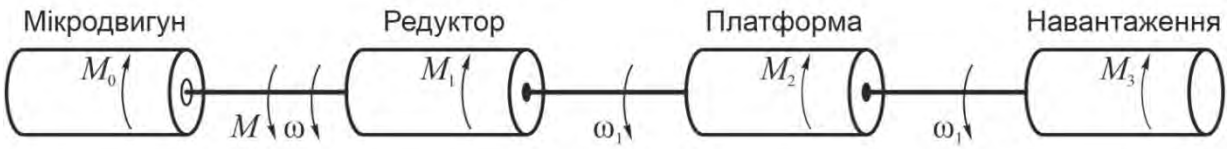


Рисунок 1. Еквівалентна схема приводу обертової платформи

Рівняння обертових моментів та швидкостей приводу в усталеному режимі:

$$M = M_0 + M_1 + M_\Sigma = M_0 + M_1 + \frac{i_1}{\eta_1}(M_2 + M_3); \quad \omega = \frac{1}{i_1}\omega_1;$$
$$i_1 = i_{зп} i_{чп}; \quad i_{зп} = \frac{20}{40}; \quad i_{зп} = \frac{2}{64}; \quad \eta_1 = \eta_{зп}\eta_{чп}; \quad \eta_{зп} = 0{,}97 \div 0{,}99; \quad \eta_{чп} \le 0{,}90; \tag{1}$$

де: M – момент, приведений до валу мікродвигуна; M_0, M_1, M_2, M_3 – моменти тертя мікродвигуна, редуктора, платформи та від навантаження на платформу відповідно; i_1, η_1, $i_{зп}$, $\eta_{зп}$, $i_{чп}$, $\eta_{чп}$ – передатні відношення та ефективність редуктора, зубчатої та черв'ячної передач редуктора відповідно.

Мікродвигуни досліджувались в широкому діапазоні номінальної напруги, від напруги зрушення U_0 ротора до напруги живлення $U_ж$ = 27 В. В кожному режимі вимірювались миттєві значення: U – напруги на обмотках якоря; I – струму в обмотках якоря; P – вхідної (споживаної) потужності; n – кількості обертів валу мікродвигуна за хвилину; $I_Н$ – струму короткого замикання.

В якості джерела живлення електричного приводу застосовано потужний блок живлення Б5-7 (розробка СРСР). Інформаційний супровід експериментів забезпечено апаратно-програмними засобами в складі датчика напруги, струму і потужності на основі сенсора INA219 з нульовим дрейфом і послідовним інтерфейсом I2C (розробка Texas Instruments, США), датчика обертів на основі трансмісійного фотомікросенсора EE-SX1103 (розробка Omron Electronic Components, США), плата Arduino Uno Rev.3 (розробка Arduino Software, Італія) з мікроконтролером Atmel AVR (розробка Atmel Corporation, США).

Через непрямі вимірювання визначались миттєві значення параметрів: $R_Я$ – електричного опору обмоток якоря (опором щіток нехтувалось); E, I_E – напруги та струму зворотної електрорушійної сили в обмотках якоря; M – обертового моменту валу мікродвигуна, з якого, враховуючи різні режими випробовувань, можна визначити моменти тертя M_0 M_1, M_Σ (згідно рівняння 1); P_2 – вихідної (механічної) потужності; η – ефективності (коефіцієнта корисної дії) [2]:

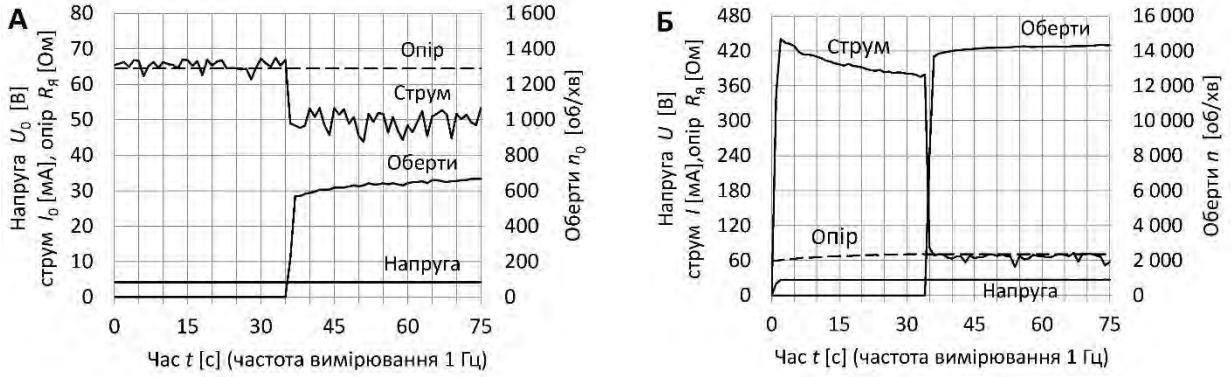
$$R_Я = \frac{U_0}{I_0}; \quad R_Я = \frac{U}{I_Н}; \quad E = U - IR_Я; \quad I_E = I_Н - I; \quad P_2 = EI = UI - I^2 R_Я;$$
$$M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{UI - I^2 R_Я}{n} \cdot \frac{60}{2\pi}; \quad \eta = \frac{P_2}{P} \cdot 100\%. \tag{2}$$

Всі вимірювання здійснювались з частотою 1 Гц. Значення параметрів визначались як середні за певний проміжок часу – довший при зрушені ротора і низьких обертах, коротший при короткому замиканні і високих обертах. Точність вимірювання і визначення параметрів в широкому діапазоні вимірюваних параметрів, залежно від діапазону значень, складала від 1% до 12% (відносний розкид значень), при цьому можливе апаратне і програмне

калібрування датчиків не застосовувалось. Проте, застосована методика та проведені експериментальні дослідження дозволяють зробити певну якісну і кількісну оцінку досліджуваних мікродвигунів як виконавчих елементів автоматизованих лабораторних пристроїв.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вирішальне значення для точності визначення непрямими вимірюваннями характеристик мікродвигуна має визначення електричного опору $R_Я$ якоря (див. рис.2 та рівняння (1)), який прямими вимірюваннями неможливо визначити через невизначеність електричного опору контактної системи щітка-колектор. Значення опору $R_Я$ визначалось при напрузі зрушення U_0 ротора мікродвигуна та при короткому замиканні, коли струм $I_Н$ в обмотках якоря максимальний (для мікродвигуна ДМ-1,6-8 коротке замикання протягом короткочасних досліджень не є критичним завдяки високим експлуатаційним характеристикам стійкості).



а) б)

Рисунок 2. До визначення електричного опору $R_Я$ обмотки якоря мікродвигуна при зрушенні ротора при пуску мікродвигуна (а) та при короткому замиканні (б)

При зрушені ротора при напрузі U_0 струм I_0 в обмотках якоря постійний, опір $R_Я$ не змінюється (див. рис. 2.а), при збільшені номінальної напруги опір $R_Я$ збільшується, а струм I зменшується аперіодично (див. рис. 2.б).

При визначенні обертових моментів M (див. (1) і (2)), тобто, залежно від режимів випробовування, моментів тертя M_0, M_1, M_Σ, встановлено, що момент тертя збільшується з збільшенням обертової швидкості при збільшенні номінальної напруги (див. рисунок 3). Встановлення фізичної природи такої зміни (вплив в'язкого тертя при застосуванні мастил чи опору повітря, тощо) потребує окремих ретельних досліджень. Необхідно також відзначити досить значні значення пускового струму I_0 та моменту тертя M_0, від 0,5 до 0,8 мН·м, для всіх досліджуваних мікродвигунів, що пов'язано, можливо, з відпрацюванням значного ресурсу та зі зносом контактних елементів мікродвигуна (для сучасних мікродвигунів такого класу ці значення, зазвичай,

Рисунок 3. Момент тертя мікродвигуна

на порядок нижче [3]).

По результатам експериментальних досліджень побудовані графічні характеристики мікродвигунів ДМ-1,6-8 при апроксимації (лінеаризації) виміряних і визначених параметрів для номінальної напруги, яка є напругою живлення: $U = U_{ж} = 27$ В (див. рис. 4). На діаграмі також вказані номінальні значення параметрів мікродвигуна при роботі з редуктором (див. рис.4., лінія «А») та в складі приводу обертової платформи (див. рис.4, лінія «Б»), а також робочі номінальні параметри, які вказані в технічній документації на мікродвигун (приведено у вступі та на рис. 4, лінія «В»).

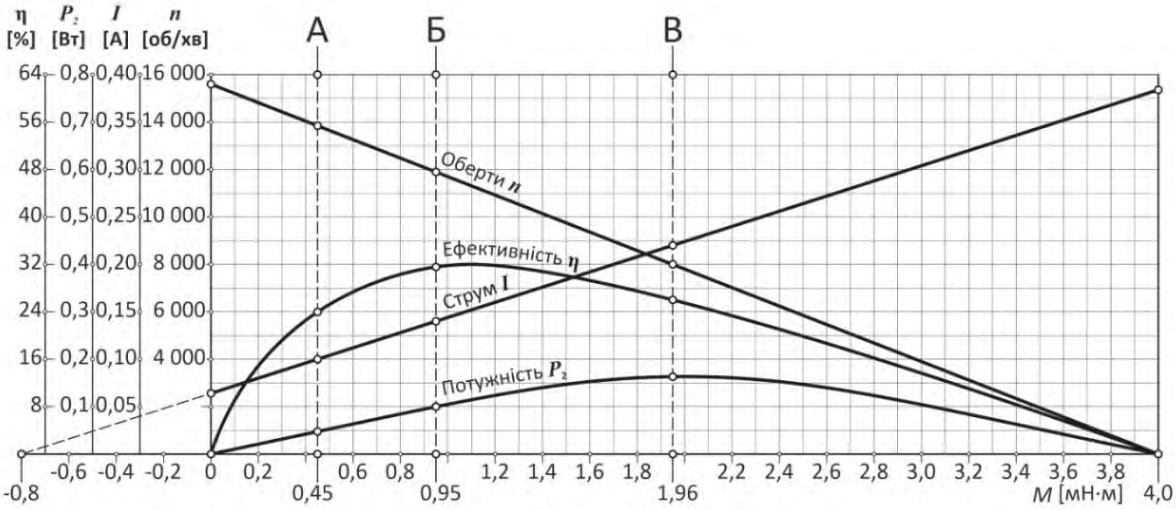


Рисунок 4. Характеристики мікродвигуна ДМ-1,6-8 № 1 при номінальній напрузі $U = 27$ В

ВИСНОВКИ

Мікродвигуни постійного струму ДМ-1,6-8 можуть бути застосовані в автоматизованих лабораторних пристроях як виконавчі елементи, призначені для роботи в діапазоні обертових моментів, швидкостей та потужностей, визначених вище (рис.4). Для прецизійних лабораторних пристроїв, яким потенційно є досліджувана обертова платформа, рекомендується вибрати і дослідити інший мікродвигун, зі значно меншими значеннями моменту тертя, теплового опору, тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] О. В. Заморський. «Електромеханічне забезпечення лабораторного стенду для дослідження статичних і динамічних характеристик мікромеханічних датчиків». *Збірник тез XIX Міжн. науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи»*. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – С. 15-16.

[2] Ю. В. Степанковський Перетворюючі пристрої приладів. Електродвигуни. К.: «Корнійчук», 2002. – 207 с.

[3] Technical Information by Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. 17th edition. – 2020. Режим доступу: https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN_TECHNICAL_INFORMATION.pdf

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

УДК 621.391.822

Шелемаха В.В., студент гр. ПГ-71, к.т.н., доц. Цибульник С.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД КОЛЬОРОВИХ ШУМІВ

Анотація. Обробка сигналів є важливим етапом процесу вимірювання, оскільки усі виміряні сигнали містять шумові складові. Враховуючи велике різноманіття джерел шуму, не можна відразу чітко визначити його природу і обрати для обробки виміряного сигналу правильний метод. Тому в даній роботі проводиться огляд основних видів кольорового шуму та наводиться перелік можливих джерел, які його викликають. Знання природи шумових процесів дозволить дослідникам більш правильно обирати методи обробки сигналів чи проводити фільтрацію лише певного частотного діапазону.

Ключові слова: сигнал, обробка сигналів, кольоровий шум, вимірювання.

ВСТУП

Сигнал [1] – це інформаційна функція, яка несе повідомлення про фізичні властивості, стан або поведінку будь-якої фізичної системи, об'єкта чи середовища. Метою обробки сигналів можна вважати визначення певної інформації, яка міститься в сигналі і її перетворення в форму, зручну для сприйняття і подальшого використання. Сигнал можна класифікувати за різними показниками [2]: за розмірністю, за безперервністю, за видом математичної моделі.

Уся класифікація сигналів робиться для того щоб застосовувати ті або інші маніпуляції з сигналом. Найчастіше сигнали отримують у процесі вимірювання. Вимірювання потрібні для того [3], щоб обробляти, зберігати і перетворювати сигнал у найбільш зручну для сприйняття форму. Вимірюватися можуть різні величини в залежності від вхідних параметрів, наприклад, час, частота, сила струму та інші. Майже завжди результати вимірювань окрім корисної складової містять також певний вимірювальний шум, який спотворює сприйняття реального фізичного процесу.

КОЛЬОРОВИЙ ШУМ

Істинне значення сигналу може змінюватися в часі. Дуже часто не можна побачити справжнього сигналу, а все, що можна виміряти – це сигнал з шумом або наближене розрахункове значення. При цьому існує дуже багато різних видів шуму.

Шуми [4] є важливою проблемою в науці і техніці оскільки вони визначають нижні межі, як щодо точності будь-яких вимірювань, так і по відношенню до величини сигналів, які можуть бути оброблені засобами електроніки. Шум є різним за частотою, яка визначає його, так званий, колір[5]. Загалом [6], джерелом шуму може бути все навколо: це може бути голос людини, що сидить поруч у кінотеатрі, автомобіль що проїжджає поруч, тощо. У загальному випадку шум є випадковим: знання однієї частини сигналу майже нічого не говорить вам про майбутній стан сигналу.

Один з найбільш використовуваних видів інформаційного шуму називається білим шумом за аналогією з білим світлом, яке являє собою однорідну суміш всіх можливих кольорів. У частотному аналізі, який часто використовується при обробці сигналів, білий шум являє собою однорідну

суміш випадкової енергії на кожній частоті. Цей шум ще називають білий гаусівський шум (англ. White Gaussian Noise) [7]. Адитивний білий гаусівський шум – це базова модель шуму, використовувана в теорії інформації для імітації ефекту багатьох випадкових процесів, що відбуваються в природі. Адитивний, тому що додається до будь-якого шуму, який може бути притаманний інформаційній системі. Білий через те, що він має рівномірну потужність у смузі частот інформаційної системи, а назва «гаусівський», тому що він має нормальний розподіл в часовій області із середнім значенням часової області – нуль. Широкосмуговий шум проявляється від багатьох природних джерел, таких як: теплові коливання атомів в провідниках, від небесних джерел, тощо. У техніці не існує ідеального білого шуму, тому будь- який виміряний шум прийнято називати кольоровим.

У звуці найбільш поширеним кольором є «рожевий шум». І білий, і рожевий шум містять всі частоти, які можна почути людині – від 20 до 20 000 герц, – але спосіб розподілу потужності їх сигналу між цими частотами відрізняється. Білий шум має однакову потужність на всіх частотах, тоді як потужність рожевого шуму зменшується зі збільшенням частоти. У результаті низькі частоти рожевого шуму голосніші і сильніші, ніж високі частоти. Однак більшість людей сприймають звук рожевого шуму як рівний або плоский, тому що він має однакову потужність на октаву.

Рожевий шум виникає в ряді природних систем, включаючи щоденні ритми серцебиття, яскравість квазара і транспортний потік. Що стосується додатків, рожевий шум часто використовується для тестування і вирівнювання акустичних систем в кімнатах і аудиторіях. В останні роки рожевий шум також став популярним в ділових умовах – шум може маскувати низькочастотний фоновий звук, потенційно допомагаючи підвищити продуктивність і концентрацію співробітників.

Коричневий шум – один з багатьох кольорів шуму, який також включає білий шум, рожевий шум і синій шум. Однак коричневий шум отримав свою назву не від кольору – він фактично названий на честь ботаніка Роберта Брауна, який відкрив броунівський рух (випадковий рух частинок) в 1800-х роках. Коричневий шум має ще більш сильний зсув енергії в бік низького спектру.

Синій шум, який іноді називають високочастотним білим шумом, являє собою колір шуму зі спектральною щільністю, яка пропорційна його частоті. Це означає, що потужність і енергія сигналу зростають зі збільшенням частоти. Іншою відмінною рисою синього шуму є те, що кожна наступна октава збільшується на три децибела – це призводить до того, що кожна октава упаковує стільки ж енергії, скільки дві октави під нею разом узяті. Оскільки синій шум зміщений в сторону більш високих частот, він звучить як пронизливе шипіння без будь-яких басів. У звукових програмах синій шум використовується для дизерінгу – процесу, при якому шум додається до доріжки, щоб згладити звук і зменшити гучність спотворень.

Фіолетовий шум збільшується зі швидкістю 6 дБ на октаву. Це свого роду диференційований шумовий сигнал з певною траєкторією. У результаті це може бути корисним для блокування деяких високочастотних звуків, пов’язаних з

шумом у вухах або деякими видами втрати слуху. Деяким слухачам фіолетовий шум може здаватися схожим на інші види спектрального шуму, наприклад, як звук відкритого крана з водою. В інформаційних технологіях фіолетовий шум може використовуватися для того ж самого процесу, як і у випадку з синій шумом – дизерінгу. В апаратному забезпеченні фіолетовий шум також може використовуватися в звуковому устаткуванні або допоміжному обладнанні для сну, наприклад, у високоякісних акустичних системах або в медичних пристроях.

ВИСНОВКИ

У даній статті розглянуто основні види кольорового шуму: надано їх опис, відмінності між собою та вказано області виникнення чи застосування. Загалом, всі шумові сигнали мають паралелі в області оптичного спектру.

У подальшому планується провести ряд досліджень і визначити яким чином наявність кольорового шуму різної потужності впливає на характеристики апроксимованого сигналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы (3-е изд., перераб. и доп). М.: Высшая школа, 2000, 462 с.

[2] Классификация сигналов. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://studme.org/285792/tehnika/ klassifikatsiya_signalov (дата звернення: 25.04.2021).

[3] An Introduction to Statistical Signal Processing. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://ee.stanford.edu/~gray/sp.pdf (дата звернення: 25.04.2021).

[4] Шум (обработка сигнала) - Noise (signal processing). [Електронний ресурс] Режим доступу: https://ru.other.wiki/wiki/Noise_(signal_processing) (дата звернення: 25.04.2021).

[5] What Is Noise? [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.livescience.com/(дата звернення: 25.04.2021).

[6] Почему измерения во временной и частотной областях не совсем одно и то же. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://community.keysight.com/community/keysight-blogs/russia/blog/2018/09/04/почему-измерения-во-временной-и-частотной-областях-не-совсем-одно-и-то-же (дата звернення: 17.01.2021).

[7] Additive white Gaussian noise. [Електронний ресурс] Режим доступу: Additive white Gaussian noise - Wikipedia (дата звернення: 25.04.2021).

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

УДК 531.383-11

В.А. Яковенко, студент гр. ПГ-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА MEMS-ГІРОСКОПУ RR-ТИПУ У РІХЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

Анотація. Розглянуто типові конструкції ММГ RR-типу, досліджено математичну модель його руху. Розглянуто вторинний рух чутливого елемента(ЧЕ) ММГ з отриманням кінцевого варіанту математичної моделі за різних законів руху основи. Також в програмному середовищі Matlab та Simulink було відтворено математичну модель руху ММГ та отримано графіки вторинних коливань ЧЕ ММГ за різних законів руху основи.
Ключові слова: ММГ, ЧЕ, математична модель, програмна модель, вторинні коливання.

ВСТУП

Осциляторні гіроскопи характеризуються тим, що швидкість їх власного руху знакозмінна, тобто має характер коливань. Цей рух може бути не тільки кутовим, а й поступальним. Таким чином, в них застосовано вібруючу масу замість обертового ротора.

Прогрес в галузі мікроелектроніки спонукав створення нового класу приладів – мікромеханічних гіроскопів (ММГ).

Схеми більшості ММГ побудовано відповідно принципу роботи осциляторного вібраційного гіроскопа. До інерційної маси, що має пружний зв'язок з основою, прикладаються сили $Fв$ або моменти $M_в$, які збуджують гармонічні коливання (лінійні або кутові) постійної амплітуди й частоти. Амплітуда коливань, що виникають, є мірою вимірюваної кутової швидкості [1].

За засобами реалізації руху інерційної маси ММГ схеми побудови можна поділити на схеми з поступальними рухами по координаті збудження α_1 і координаті вихідного сигналу α_2 (LL-гіроскопи); з кутовими рухами по обох координатах (RR-гіроскопи); з різними комбінаціями поступальних і кутових рухів (LR-гіроскопи).

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ММГ RR-ТИПУ

Типовим прикладом конструкції гіроскопу RR-типу є дисковий ММГ [1] (рис. 1, рис.2).

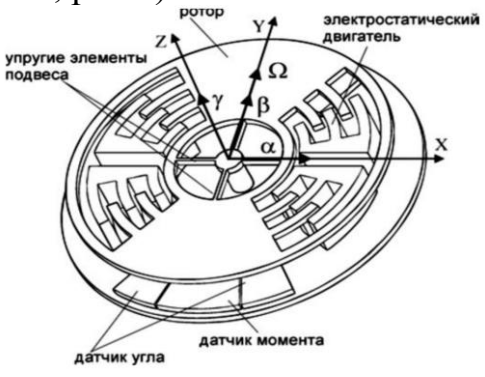


Рис. 1. Дисковий ММГ RR-типу.

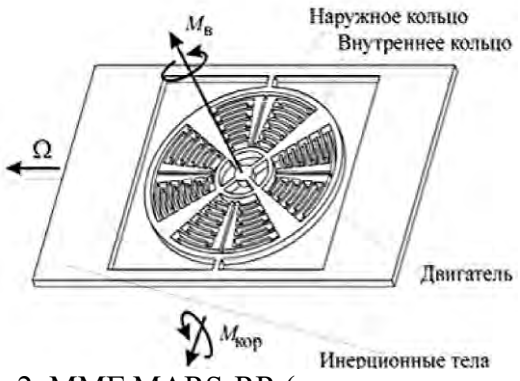


Рис.2. ММГ MARS-RR (принципова схема)

У такій схемі кутові рухи диска навколо осі чутливості z збуджуються гребінчастим двигуном з частотою, рівною частоті власних кутових коливань. При появі кутової швидкості основи виникають сили Коріоліса, що спричиняють

коливання диску по осі, перпендикулярній до його відносної швидкості й переносної кутової швидкості основи Ω. Хоч принцип роботи ММГ однаковий, конструкція відрізняється в залежності від вимог до точності та конкретного завдання [1, 2].

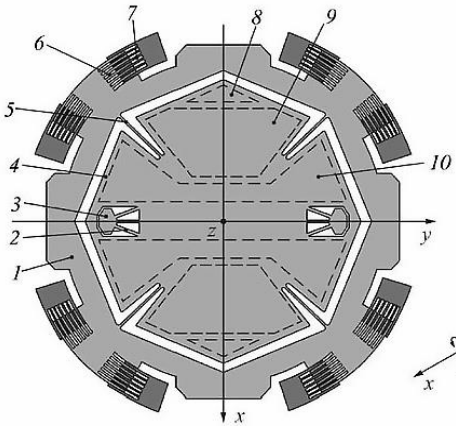


Рис. 3. Принципова схема ММГ фірми Irvine Sensors Corp. [1]

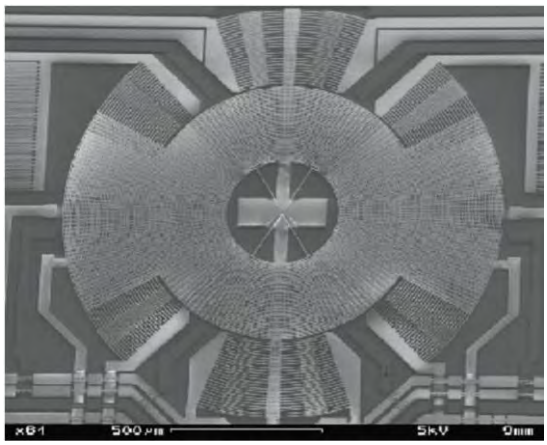


Рис. 4. Зображення чутливого елемента ММ2.[2]

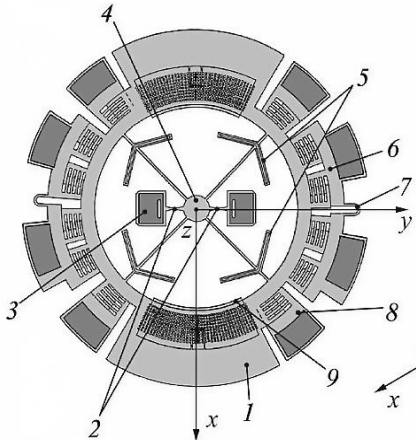


Рис. 5. Принципова схема ММГ фірми The Charles Stark Draper Laboratory.[1]

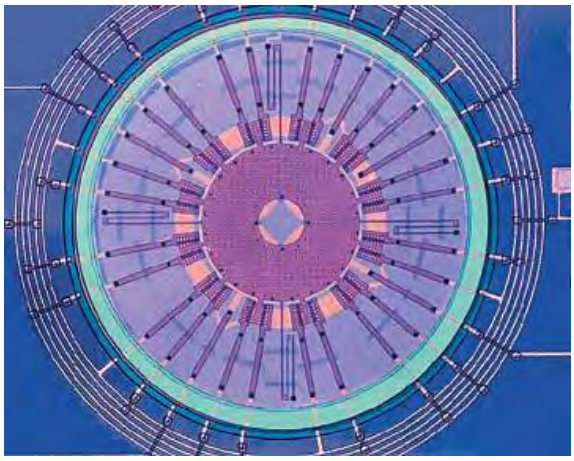


Рис. 6. Полікремнієвий елемент ММГ фірми Berkeley Sensor & Actuator Center [3]

Не залежно від типу коливань по координатам збудження та вихідного сигналу, рух ММГ можна описати системою рівнянь [4, 5]:

$$\begin{aligned} \ddot{\alpha}_1 + 2\zeta_1\omega_1\dot{\alpha}_1 + (\omega_1^2 - d_1\Omega^2)\alpha_1 &= q_1 - g_1\Omega\dot{\alpha}_2 - d_3\dot{\Omega}\alpha_2 \\ \ddot{\alpha}_2 + 2\zeta_2\omega_2\dot{\alpha}_2 + (\omega_2^2 - d_2\Omega^2)\alpha_2 &= q_2 + g_2\Omega\dot{\alpha}_1 + \dot{\Omega}\alpha_1 \end{aligned}, \quad (1)$$

де ζ_1, ζ_2 - безрозмірні коефіцієнти демпфування, q_1, q_2 - загальні кутові прискорення, ω_1^2, ω_2^2 - квадрати власних частот первинних та вторинних рухів відповідно, g_1, g_2 - гіроскопічні коріолісові коефіцієнти, d_1, d_2, d_3 - є коефіцієнтами, які розглядаються в якості параметрів конструкції чутливого елемента разом із гіроскопічними коефіцієнтами .

Математичну модель (1) було змодельовано в програмному середовищі Simulink (Рис. 7):

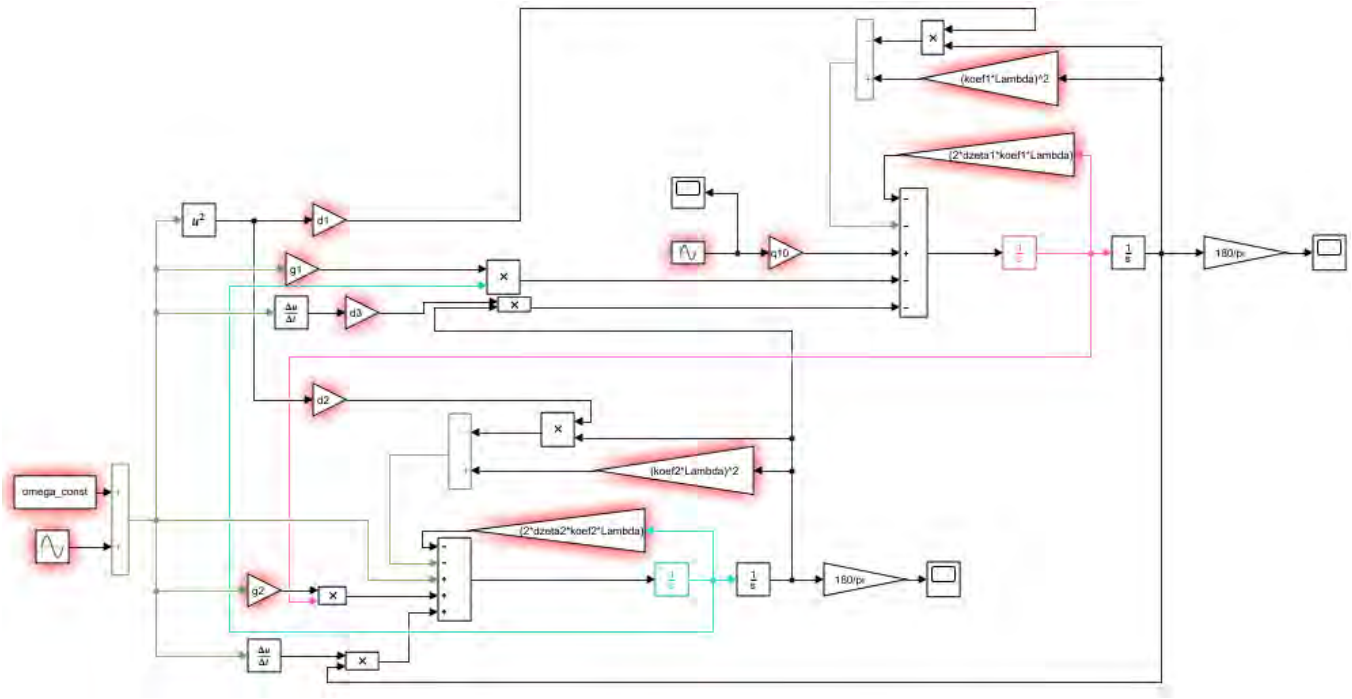


Рис. 7. Мат. модель представлена в середовищі Simulink

Розглянемо основні режими роботи мікромеханічних гіроскопів при вимушених коливаннях інерційної маси, виконавши моделювання схеми на рис.7 в програмному середовищі Matlab та Simulink.

Надалі будемо вважати, що $Q_2 = 0$, а сила збудження Q_1, створювана елекростатичним приводом, спричиняє виникнення узагальненого прискорення, що змінюється за гармонічним законом $q_1(t) = q_{10} \sin \lambda t$.

Розглянемо вторинний рух ЧЕ ММГ за різних законів руху основи.

Нерухома основа. У цьому випадку переносна кутова швидкість $\Omega = 0$, і система диференціальних рівнянь руху (1) набуває вигляду:

$$\ddot{\alpha}_1 + 2\zeta_1\omega_1\dot{\alpha}_1 + \omega_1^2\alpha_1 = q_1(t);$$

$$\ddot{\alpha}_2 + 2\zeta_2\omega_2\dot{\alpha}_2 + \omega_2^2\alpha_2 = 0,$$

тобто розпадається на два незалежні лінійні диференціальні рівняння другого порядку щодо узагальнених координат.

Після знаходження загального розв'язку сукупності цих рівнянь з залежністю узагальнених координат від часу та при виконанні резонансного настроювання, можемо записати такі рівняння:

$$\alpha_1(t) = \frac{q_{10}}{2\zeta_1\omega_1\lambda} \cdot \cos \lambda t; \qquad \alpha_2(t) = 0,$$

отримані після згасання власних коливань інерційної маси, коли будуть здійснюватися вимушені (первинні) коливання з амплітудою, пропорційною силі збудження, уздовж осі x_c, у той час, як вздовж напрямку осі z_c інерційна маса залишиться нерухомою.

Результати моделювання даного режиму роботи показано на рис.8:

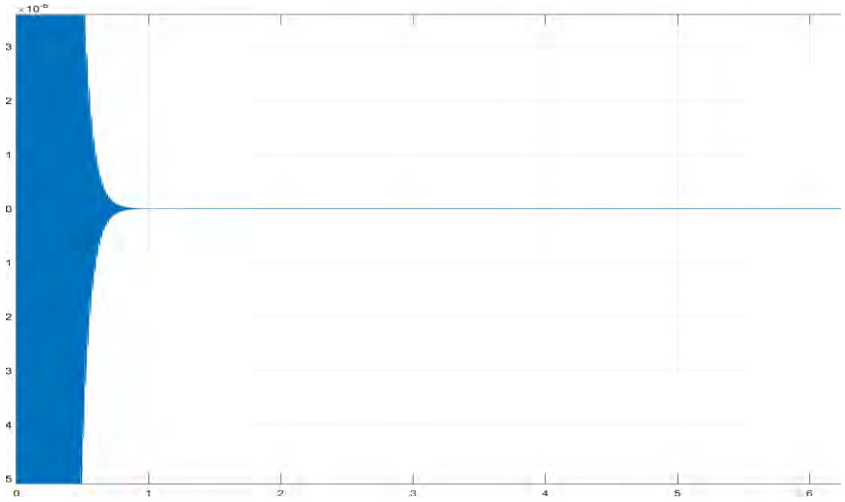


Рис. 8. Графік вторинних коливань при нерухомій основі

Рух основи з постійною та змінною кутовою швидкістю. Розглянемо рух ЧЕ ММГ за умови $\Omega = const$ і $\Omega_2 = 0$. Для цього спочатку запишемо рівняння (1) в операторній формі, використовуючи оператор Лапласа p [1]:

$$(p^2 + 2\zeta_1\omega_1 p + \omega_1^2 - \Omega^2)\alpha_1 + 2\Omega p\alpha_2 = q_1(p)$$

$$-2\Omega p\alpha_1 + (p^2 + 2\zeta_2\omega_2 p + \omega_2^2 - \Omega^2) = 0$$

Запишемо розв'язок рівнянь в операторній формі, з урахуванням характеру зміни $q_1(t) = q_{10}\sin\lambda t$, у вигляді:

$$\alpha_1(\Omega) = A_{11}(\lambda,\Omega)\Omega\sin(\lambda t + \varphi_1);$$

$$\alpha_2(\Omega) = A_{21}(\lambda,\Omega)\Omega\sin(\lambda t + \varphi_2),$$

де A_{11}, A_{21} - амплітудно частотні характеристики.

Результати моделювання режимів роботи з постійною та змінною кутовими швидкостями показано на графіках (рис.9, рис.10):

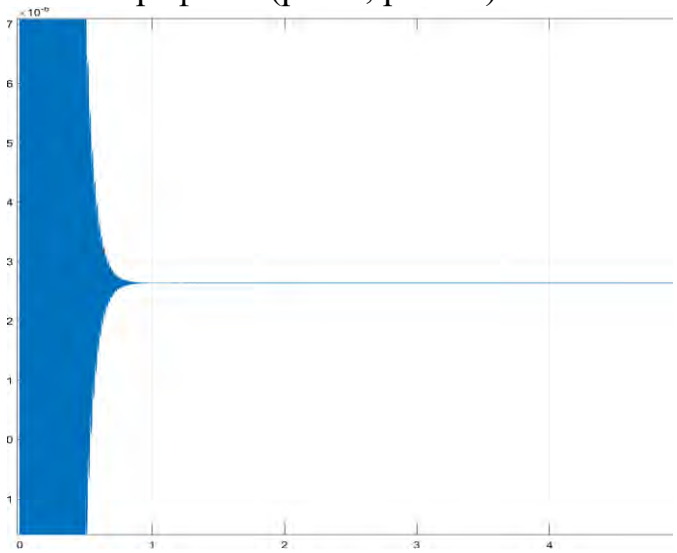


Рис. 9. Графік вторинних коливань при русі основі з постійною кутовою швидкістю

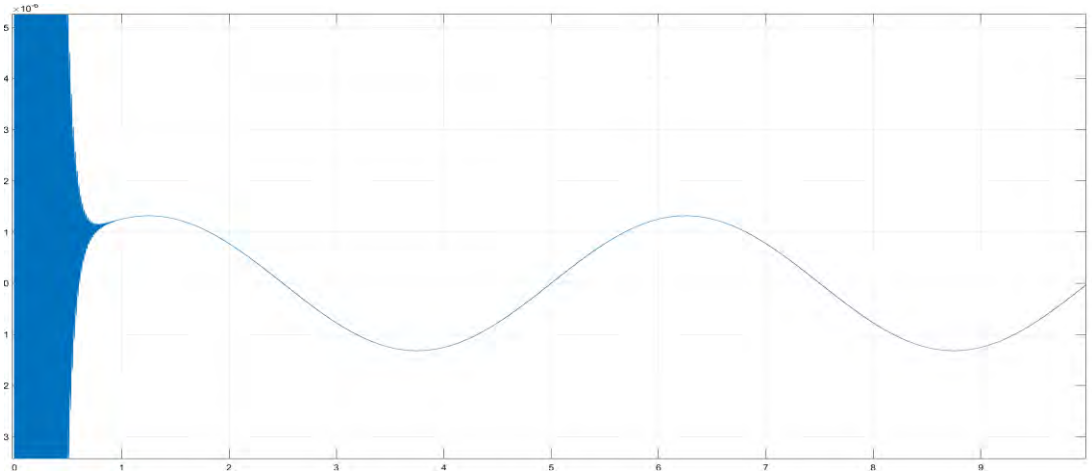


Рис. 10. Графік вторинних коливань при русі основі зі змінною кутовою швидкістю

ВИСНОВОК

У роботі розглянуто типові конструкції ММГ RR-типу та досліджено узагальнену математичну модель, що описує їх рух. Розглянуто вторинний рух чутливого елемента ММГ з отриманням аналітичних розв'язків математичної моделі за різних законів руху основи, а саме: при нерухомій, при постійній та змінній кутових швидкостях основи. Також в програмному середовищі Matlab та Simulink було створено імітаційну модель ММГ та отримано графіки вторинних коливань чутливого елементу ММГ за різних законів руху основи. Дана модель може бути гнучко розширена з урахуванням особливостей конкретного екземпляра розроблюваного ММГ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Распопов В.Я. Микромеханические приборы: Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 2007. - 400 с.

[2] Classen, J., Frey, J., Kuhlmann, B., Ernst, P., & Bosch, R. (2007, August). MEMS gyroscopes for automotive applications. In Advanced Microsystems for Automotive Applications (pp. 291-306). Berlin, Germany: Springer.

[3] Bernstein, J. (2003). An overview of MEMS inertial sensing technology. Sensors, 20(2), 14-21.

[4] Лазарєв Ю. Ф., Бондар П. М. Основи теорії чутливих елементів систем орієнтації. Підручник. – К.: , 2009. – 626 с.

[5] Апостолюк В. О.. Узагальнена теорія та методи проектування Коріолісових вібраційних гіроскопів. Дисертація. – К.: 2015. – 264 с.

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

Секція 2.

Оптичні та оптико-електронні прилади і системи

УДК 681.2

М.С. Білик, студент гр. ПО-71, к.т.н., доц. Кучеренко О.К.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ БАЗУВАННЯ СІТКИ У НАПІВАКТИВНІЙ СИСТЕМІ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ

Анотація. В роботі визначенні вимоги до точності базування сітки у прицільній системі лазерно–променевого наведення ракет, Прицільна система є важливою складовою протитанкового ракетного комплексу, оскільки точність наведення визначає ефективність використання комплексу. Основними факторами, що впливають на точність наведення є паралактична похибка і похибка децентрування сітки. В роботі визначені вимоги до точності поздовжнього і поперечного базування сітки в залежності від допустимого паралаксу. Іншим фактором, який приймався до уваги, була необхідність одночасного забезпечення різкого зображення цілі і площини сітки. На основі приведеної теорії розглянутий конкретний приклад розрахунку.

***Ключові слова*:** лазерно–променева система наведення, прицільна система, паралактична похибка, похибка децентрування, точність базування сітки, різкість зображення

ВСТУП

Напівактивна лазерно-променева система наведення (ЛПСН) призначена для наведення та супроводу ракети під час ураження цілі [1]. Для наведення в системі використовується лазерний канал з малою потужністю лазера, що дає можливість наводити на ціль непоміченим. Іншою складовою системи є візирний канал, який супроводжує ракету під час пострілу та дає можливість керувати нею на протязі льоту, тобто вести напівактивне наведення .

Візирний канал виконаний як монокуляр, оптична вісь якого узгоджена с віссю лазерної системи наведення. Після пострілу візирний канал разом с ЛПСН безперервно супроводжує ціль і передає команди на керування ракетою. Ефективність використання комплексу залежить від різкості зображення цілі і прицільної сітки, а також від точності наведення ракети, яка безпосередньо визначається точністю базування сітки в телескопічному прицілі. Визначення вимог до точності базування прицільної сітки є основним фактором при проектуванні подібних систем.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження факторів, які впливають на різкість одночасного спостереження монокуляром прицілу зображень цілі та прицільної сітки. Іншим фактором є визначення вимог до точності базування сітки в залежності від паралактичної похибки наведення. Теоретичні дослідження підтверджуються розрахунками з використанням необхідних типових параметрів ЛПСН.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вимоги до точності базування прицільної сітки в ЛПСН мають відповідати трьом умовам [2]:

а) сітка та зображення цілі, яке на неї проектується мають бути видні однаково різко, це є обов’язковою вимогою;

б) друга вимога визначається точністю вимірювань і може бути регламентована допустимим кутовим паралаксом;

в) необхідною точністю поперечного базування прицільної сітки.

Може виявитись, що з перших двох достатньо виконати лише першу вимогу про одночасну різкість зображення цілі та сітки при спостереженні через окуляр. При цьому залишковий паралакс не має перевищувати величину, що відповідає точності вимірювань (друга вимога). А інакше слід уточнити подовжню установку сітки. У відповідності з цим в першому випадку допуск на встановлення сітки задається в діоптрійній мірі – $A_{різк}$, а в другому величиною залишкового паралаксу – $(\Theta_{об.})_{зал.}$.

Як відомо всі віддалені предмети починаючи з певної відстані x_∞ і до нескінченності, представляються спостерігачу однаково різкими. Ця відстань x_∞ називається практичною нескінечністю і дорівнює:

$$x_\infty = 1,25 \cdot (d_p)^2 \text{ м}, \quad (1)$$

де d_p – діаметр робочої вхідної зіниці телескопічної системи в міліметрах.

Ця формула отримується, якщо знайти відстань до зображення сітки, котра від фокуса об'єктива $F`_{об.}$ віддалена на величину ймовірної похибки поздовжнього фокусування $\Delta x = 0.2 / u^2$ (мкм), де U – апертурний кут.

Застосувавши її до простору зображення за окуляром, отримаємо:

$$x'_\infty = 1,25 \cdot (d'_p)^2 \text{ м}, \quad (2)$$

де d'_p – діаметр робочої вихідної зіниці телескопічної системи в міліметрах.

Діаметр робочої вихідної зіниці телескопічної системи прицілa визначається частиною світлового потоку, який використовується оком спостерігача.

Допуск на різницю сходження променів, що виходять з центру зображення цілі і центру сітки із умови одночасної різкості у діоптріях за окуляром дорівнює:

$$A_{різк} \le 1 / X'_\infty = 0,8 / (d'_p)^2 . \quad (3)$$

Діаметр робочої вихідної зіниці визначається розміром приймача світлового потоку, в нашому випадку приймачем є око отже $d'_{p\,ок} = d_{..} =$ 2мм. Тоді отримаємо:

$$A_{різк} \le 0,8 / (d'_p)^2 = 0,2 \partial nmp = const. \quad (4)$$

Тобто допуск на встановлення сітки із умови одночасної різкості для всіх візуальних приладів з вихідною зіницею більше 2 мм можна приймати однаковим і рівним 0,2 дптр. При малих вихідних зіницях менше ніж 2 мм маємо змінний по величині допуск і завжди більший ніж 0,2 дптр. За величиною допуску $A_{різк}$ за окуляром можна отримати допустиму величину зміщення сітки із площини зображення перед окуляром, тобто :

$$\Delta z_{доп} = f'^2_{ок} / a = f'^2_{ок} \cdot A_{різк} / 1000 , \quad (5)$$

де $f'_{ок}$фокусна відстань окуляра.

При встановленні сітки за ознакою одночасної різкості з точністю $A_{різк}$ величну залишкового паралаксу слід порівняти з допуском, отриманим з вимог до точності вимірювання. Залишковий кутовий паралакс в телескопічній системі прицілу у кутових секундах дорівнює:

$$(\theta_{ок})''_{зал} = t_{\max} \cdot A_{різк.} \cdot 3400/1000 = 3,4 \cdot t_{\max} \cdot A_{різк.}, \quad (6)$$

де $t_{\max}$ максимальна величина поперечного пересування ока в межах вихідної зіниці.

Якщо залишковий паралакс перевищує допустиму величину, то слід уточнити допуск на точність установки сітки, виходячи з допустимого паралаксу $\theta'_{доп}$ в площині предметів. Допуск на не співпадіння площини сітки з площиною зображення цілі визначають за формулою:

$$\Delta z_{доп} \le f'^{2}_{ок} \cdot \theta''_{доп} \cdot \Gamma / 206400 \cdot t_{\max}, \quad (7)$$

де Γ – видиме збільшення телескопічної системи прицілу ЛПСН.

Не співпадіння площини сітки з площиною зображення цілі контролюється різними способами, але всі вони ґрунтуються або на спостереженні не одночасної різкості зображення сітки і цілі, або на виявленні залишкового паралаксу.

Визначимо вимоги до точності встановлення сітки у прицільній телескопічній системі ЛПСН, виходячи з типових вимог до похибки наведення при певній дальності розташування цілі. Ці вимоги такі [3]:

а) похибка наведення – 0,25 м;

б) дальність наведення – 2500м.

Виходячи з цих даних, допустимий кутовий паралакс в площині предметів дорівнюватиме:

$$\theta_{доп} = \frac{0,25}{2500} = 0,0001 рад = 20,6''.$$

Іншими факторами, які слід враховувати при розрахунках є характеристики окуляра прицільної системи наведення. В таких системах використовуються окуляри з віддаленою вихідною зіницею. Типові характеристики окуляра такі [4]:

а) діаметр вихідної зіниці – 12 мм;

б) фокусна відстань –32,76 мм;

в) віддалення вихідної зіниці – 50 мм

Скориставшись співвідношеннями (1–6), отримаємо значення похибки подовжнього базування прицільної сітки і залишкового паралаксу, виходячи з вимог одночасного різкого зображення цілі і сітки:

$$d' \triangleright d_{зін.ок.};$$

$$d'_{р} = d_{зін.ок.} = 2мм;$$

$$t_{\max} = d'/2 = 6мм;$$

$$A_{різк.} = \frac{1}{z'_{\infty}} = \frac{1}{1,25 \cdot 2^2} = \pm 0.2 дптр;$$

$$\Delta z \cdot z'_{\infty} = f'^{2}_{ок};$$

$$\Delta z = \frac{-f'^{2}_{ок}}{z'_{\infty}} = -\frac{f'^{2}_{ок} \cdot A_{різк}}{1000} = -\frac{32,76^2 \cdot 0,2}{1000} = \pm 0,215мм;$$

$$\theta''_{зал} = 3,4 \cdot t_{\max} \times A_{різк} = 3,4 \cdot 6 \cdot 0,2 = 4,08' = 244,8''.$$

Оскільки $\theta_{зал} \rhd \theta_{доп}$, то слід уточнити вимоги до точності подовжнього

базування прицільної сітки, виходячи з вимог допустимого паралаксу. Скориставшись співвідношенням (7), прийнявши збільшення телескопічної системи прицілу $\Gamma = 5^{\times}$, отримаємо:

$$t_{\max} = d'/2 = 6мм$$

$$\Delta z_{доп} = \frac{f'^{2}_{ок} \cdot \theta_{доп} \cdot \Gamma}{t_{\max} \cdot 206400} = \frac{32,76^2 \cdot 20,6 \cdot 5}{6 \cdot 206400} = 0.0893мм$$

Також необхідно визначити вимоги до допустимого децентрування прицільної сітки. На величину допустимого децентрування впливають два фактори: величини допустимого паралаксу та фокусної відстані об'єктива $f'_{ок}$телескопічної системи ЛПСН. Величина допустимого децентрування визначається за формулою:

$$\Delta x(\Delta y) = f'_{об.} \cdot \theta_{доп.}, \quad (8)$$

де $f'_{об}$ – фокусна відстань об'єктива телескопічної системи прицілу.

Враховуючи залежність між фокусною відстанню об'єктива, збільшенням телескопічної системи і фокусною відстанню окуляру, для прийнятих раніше числових даних, отримаємо: $f'_{об.} = \Gamma \cdot f'_{ок} = 5 \cdot 32,76 = 163,8мм.$

Для об'єктиву з фокусною відстанню 163,8 мм отримаємо таке значення допустимої величини децентрування відносно поперечних осей координат:

$$\Delta x(\Delta y) = f'_{об.} \cdot \theta_{доп.} = 163,8 \cdot 0,0001 = 0,016мм.$$

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження показали, що для типових значень характеристик телескопічної системи наведення ЛПСН домінуючою вимогою при визначенні точності поздовжнього базування прицільної сітки є допустимий паралакс. При значенні кутового паралаксу в межах 20´´похибка поздовжнього базування повинна знаходитись в межах 90 мкм. При цьому різкість одночасного зображення цілі і площини сітки буде збережена. Що стосується допустимого децентрування, то вимоги тут жорсткіші і допустимі поперечні зсуви площини сітки знаходяться в межах 10 – 20 мкм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Андреев В. Г. Оружие и война: новые тенденции развития. // Вестник академии военных наук. — 2005. — №1. — с. 159 –168.

[2] Погарев Г. В. Юстировка оптических приборов./ В. Г. Погарев — 2е изд., — Л.: Машиностроение. 1982.— 238с

[3] Шляхи модернізації оптико-електронних засобів розвідки та прицілювання ОВТ./ Кондрат В. В., Костенко О. І., Куценко В. В. // Радиотехника. — 2018.— Вып. 194. — с. 34 – 37.

[4] Светосильный окуляр с удалённым выходным зрачком: пат. 2681246 RU: G02B / Т. С. Воронецкая. — №2018119266; заявл. 24.05.2018; опубл. 05.03.2019, бюл. №7. — 13с.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Кучеренко О. К.

УДК 681.384.3

Васильчук Є.О., студент гр. ПО-71, д.т.н., проф. Микитенко В.І.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПОЛЯРИЗАТОРІВ ДЛЯ УФ-, ВИДИМОГО ТА ІЧ- ДІАПАЗОНІВ

Анотація. В даній статті розглянуто типи поляризаторів для різних діапазонів спектру. Обгрунтовано вибір конкретних поляризаторів в порівнянні з іншими для застосування в малогабаритному багатоканальному поляриметрі.

Ключові слова: поляризація, поляриметри, багатоканальні оптико-електронні системи

ВСТУП

Поляризація – одна з основних властивостей світлового поля. Також поляризацією вважається процес перетворення неполяризованого світла в поляризоване. Люди давно скористалися своєю здатністю розрізняти світло різної частоти на основі його кольору, але наші очі не чутливі до поляризації світла.

Поляриметри – це прилади, здатні вимірювати стан поляризації світла та задіювати поляризаційні властивості випромінювання до широкого кола застосувань. Поляризатори широко використовуються в різних областях науки і техніки, наприклад, при вивченні розподілу механічних напружень в прозорих об'єктах за допомогою поляризованого світла, при дослідженні структури органічних речовин, в цукрометрії і особливо в кристаллооптиці, астрономії, а також фотографії. Поляризатори UVD260 і UVD240 серії Proflux виробництва компанії Moxtek, виготовлені за технологією nanowire, вигідно відрізняються від традиційних призменних поляризаторів Глана-Тейлора і Глана-Томпсона, що застосовуються в спектроскопії. Завдяки перевагам і особливостям конструкції вдалося досягти високої ефективності роботи в широкому спектральному діапазоні від УФ до ІЧ [1].

ОГЛЯД ПОЛЯРИЗАТОРІВ

Зазвичай в конструкції поляриметра використовують призми Глана-Тейлора (ГТ) або Глана-Томпсона (ГТМ), які виготовляють з кальциту (ісландського шпату). На жаль, властиве кальциту поглинання і розсіювання випромінювання на домішках надають значний вплив на коефіцієнт пропускання випромінювання в УФ-діапазоні і, відповідно, на співвідношення сигнал/шум. УФ-поляризатори серії Proflux виробництва компанії Moxtek демонструють більш високе співвідношення сигнал/шум в області далекого ультрафіолету [1]. Ультрафіолетові поляризатори ProFlux Nanowire пропонують відмінні рішення для ультрафіолетових та глибоких ультрафіолетових променів (від 240 нм до 400 нм). Доступні варіанти високої передачі та високої контрастності. Продукти з високим коефіцієнтом пропускання позначаються UVT, а продукти з високою контрастністю – UVD. Продукти UVD можна використовувати в спектрофотометрах де малий розмір, широкий кут прийняття, однорідність сітки та широкосмугова здатність забезпечують значне покращення продуктивності. Тому було обрано саме такий поляризатор для ультрафіолетового діапазону [2].

Коротке порівняння характеристик поляризаторів різних діапазонів наведено в табл.1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристик поляризаторів для різних діапазонів

Характеристика	***УФ***	***Видимий***	***ІЧ***
Діапазон довжин хвиль	240-400 нм	420-700 нм	700-2500 нм
AR покриття	Необов'язково	Стандартне лише на задній панелі	Немає
Допуск розмірів	± 0,4 мм	± 0,2 мм	± 0,2 мм
Відступ краю	2 мм	2 мм	2 мм
Вісь передачі (ТА)	Посилається на довгу сторону частини	Посилається на довгу сторону деталі	Посилається на довгу сторону деталі
Допуск ТА	± 1 °	± 1 °	± 1 °
Кут падіння	0°± 20 °	0°± 20 °	0°± 20 °
Максимальна температура	150 ° С стандартна, 250 ° С з покриттям	200 ° С,> 5000 годин	200 ° С,> 5000 годин

Поляризатори ProFlux розроблені з використанням технології Moxtek Nanowire для управління поляризацією світла і зображення навіть в умовах високих енергій і високих температур. Виготовлений з високоміцних матеріалів, ProFlux забезпечує чисту поляризацію, яка забезпечує високу контрастність і яскраве зображення на протязі всього терміну служби приладу.

Ступінь поляризації ProFlux мало залежить від довжини хвилі та кута падіння, що робить ці поляризатори ідеальним вибором для різних застосувань аналітичних інструментів. Поляризатори ProFlux мають чудову рівномірність поляризації на великих діафрагмах і забезпечують яскраву, високу контрастність і тривалі характеристики. Передові технології виробництва Moxtek здатні виготовляти точні поляризатори у великих обсягах для проекційного дисплея, аналітичного, автомобільного, медичні, дослідницькі та інші програми [3]. Саме тому, для нашого приладу, для видимого діапазону обираємо цей поляризатор.

Поляризатори Глана-Тейлора і Глана-Томпсона складаються з двох двопроменезаломлюючих трикутних призм, звернених один до одного гіпотенузними гранями, які розділені повітряним проміжком (ГТ) або клеєм (ГТМ). Поділ падаючого променя на два із взаємно ортогональними площинами поляризації ґрунтується на повному внутрішньому відбитті звичайного променя і проходженні незвичайного (робочого) променя. Цей процес накладає суворі вимоги на паралельність пучка і кут падіння випромінювання. Зменшення показника заломлення в ІК-діапазоні призводить до зниження допустимого відхилення від нормалі падаючого випромінювання для поляризаторів ГТ і ГТМ. Внаслідок цього в спектроскопії, де паралельність падаючого пучка не завжди ідеальна, зростає частка випромінювання, що пройшло, з небажаною поляризацією. У той час як для ефективної роботи поляризаторів ГТ і потрібно, щоб випромінювання падало з відхиленням від нормалі максимум в кілька градусів, поляризатори Moxtek мають високий ККД при різних кутах падіння випромінювання в широкому діапазоні ІЧ-хвиль, при цьому частка випромінювання, що пройшла, з небажаною поляризацією

залишається дуже низькою [1]. Завдяки технології виготовлення Proflux UVD поляризатори Moxtek можуть успішно використовуватися, коли падаюче випромінювання відхиляється від нормалі на ± 2. Ця особливість дозволяє застосовувати UVD-поляризатори для додатків, де випромінювання є слабоколлімірованним або де неможлива інтеграція додаткових оптичних елементів для точної колімації [4]. Завдяки цим перевагам обираємо поляризатор Moxtek. На Рис. 1 можемо бачити дію ІЧ-поляризатора

Рисунок 1. Зображення, отримане в приладі нічного бачення за допомогою широкосмугового ІЧ-поляризатора [4]

ВИСНОВКИ

На основі поляризаторів ProFlux з'явилися нанотехнології, які були впроваджені для забезпечення його оптимальної роботи в потужні проекційні установки, такі, які використовуються в бізнес-проекторах і зворотньо проекційних телевізійних установках високої чіткості. Moxtek має кілька патентів на технологію поляризаторів у вигляді металевих дротяних сіток.

Поляризатори ProFlux зіграли важливу роль в поліпшенні роботи проекційних дисплеїв, пристроїв побудови оптичних зображень і в спектроскопічних приладах [5].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Поляризаторы Proflux компании Moxtek: преимущества в диапазоне от УФ- до ближней ИК-области. К.Швырков, ООО "Евротек Дженерал". [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://docplayer.ru/33681841-Polyarizatory-shiroko-ispolzuyutsya-v-razlichnyh-oblastyah-nauki-i-tehniki.html

[2] UV Polarizers ProFluxUV Series, 240 nm - 400 nm. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://qd-europe.com/fileadmin/Mediapool/products/moxtek/_pdf/ProFlux_UV_240-400_nm.pdf

[3] Visible Light Polarizers PPL & PFU Series. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://qd-europe.com/fileadmin/Mediapool/products/moxtek/_pdf/Visible_Light_Polarizers_420_700.pdf

[4] Infrared Polarizer BIR Series, 700 nm - 2500 nm. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://qd-europe.com/fileadmin/Mediapool/products/moxtek/_pdf/Infrared_Polarizer_BIR_Series700-2500nm.pdf

[5] Moxtek Обзор Оптических компонентов Р.Кетчетсон, В.Магидов, vmahidov@moxtek.com; www.moxtek.com, США. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://www.photonics.su/files/article_pdf/3/article_3588_835.pdf

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

УДК 681.2

Н.А. Волинко, студент гр. ДК-72,ст. викл. Антонюк О.І.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ КУЛІ

Анотація . У роботі розроблено структурну схему, що містить в собі всі необхідні блоки для функціонування пристрою вимірювання швидкості польоту кулі: датчик прольоту кулі, блок керування пристроєм, блок для індикації результатів, стабілізатори напруги, блок датчика температури і підсилення сигналу про виміряну температуру. Створено макет пристрою на основі «STM32F4Discovery», роботу якого протестовано в усіх режимах роботи та з різними параметрами налаштувань за допомогою страйкбольного привода.
Ключові слова: хронограф, датчик прольоту кулі, швидкість та енергія кулі, цифрова обробка сигналів.

ВСТУП

В сучасному світі нам доводиться дуже часто стикатись з військовою підготовкою людей. Одним з основних етапів підготовки є вправи зі зброєю. Спочатку найчастіше використовують для тренувань страйкбольну або пневматичну зброю. А вже потім переходять безпосередньо до вогнепальної зброї. Щоб бути впевненим у правильності налаштувань і коректності роботи зброї, є етап перевірки швидкості кулі. Для цього використовують прилади для вимірювання швидкості кулі – хронографи.

Мета даної роботи є обрання принципу функціонування пристрою шляхом дослідження наукових основ вимірювання швидкості кулі і розробка блоку аналізу та обчислень для хронографа, що складався б із мінімальної кількості функціональних вузлів, потребував мінімальну кількість налаштувань і міг надати коректну інформацію про швидкість кулі, її енергію, за необхідності - параметр швидкострільності зброї, з якої була випущена куля, а також температуру навколишнього середовища, яка має вплив на зміну швидкості польоту кулі.

ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИСТРОЮ

Принципова структурна схема за якою працює пристрій, наведена на рис.1.

Рисунок 1. Структурна схема пристрою

Пристрій можна умовно поділити на 5 функціональних блоків. Перший блок відповідає за надання інформації про моменти часу, коли куля пролітає повз датчики, які закріплені на певній відстані один від одного. Другий блок приймає команди від користувача, у вигляді натискань на кнопки, і передає їх у вигляді сигналів мікроконтролеру. До третього блоку віднесено датчик температури (ДТ) та підсилювач сигналу ДТ. Фактично ця частина структурної схеми

відповідає за надання інформації про температуру навколишнього середовища, яка впливає на швидкість кулі. До четвертого блоку належить мікроконтролер (МК). Він обробляє отриману інформацію від інших блоків, робить необхідні обрахунки і передає результати до блоку відображення даних. П'ятий блок - це блок відображення даних. До нього належить символьний LCD дисплей, який відображає для користувача результати вимірювань і розрахунку параметрів - саме тих параметрів польоту кулі (швидкість, енергія) та в цілому стрільби (швидкострільність), які користувач має попередньо обрати з меню налаштувань.

ВИБІР МЕТОДА ДЕТЕКТУВАННЯ ПОЛЬОТУ КУЛІ

Найпростішим методом визначення швидкості пересування будь-якого предмета є ділення відстані, яку подолав предмет, на час, за який він подолав цю відстань . Цей метод є доволі примітивний і простий водночас, але людство на цей час ще не придумало нічого кращого. Тому прийнято використовувати даний метод при створенні хронографа.

Отже ми вже знаємо, що нам потрібна фіксована відстань, яку ми в майбутньому використаємо для вирахування швидкості. І водночас нам потрібно отримати інформацію про час, за який куля долатиме цю відстань. Тому зрозуміло, що нам потрібен якийсь датчик який даватиме нам інформацію, про початок та кінець прольоту цієї відстані. Якби знати, що користувач використовуватиме тільки металеві кулі, то найкраще було б застосувати індуктивний датчик. Але варто пам'ятати, що є травматична зброя, в якій використовуються гумові кулі, та страйкбольна тренувальна зброя, в якій застосовуються пластикові кульки. Тому нам потрібно фіксувати ці моменти часу якимось візуальним методом, незалежно від матеріалу кулі. Найкращим рішенням є принцип датчику руху, в якому використовується фототранзистор та інфрачервоний світлодіод. Цей метод зображено на рис.2.

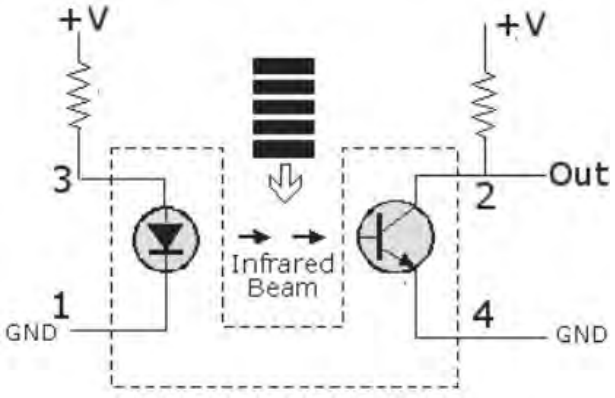


Рисунок 2. Візуальне представлення датчика прольоту кулі

Його і буде застосовано при створенні датчика прольоту кулі. Для того, щоб цей датчик можливо було налаштувати перед використанням, необхідно встановити перед фототранзистором змінний резистор(на рис.2 зображено постійний), і з цього виводу фототранзистора буде зніматися сигнал. Перед використанням цього датчика, опір змінного резистора потрібно виставити так, щоб на сигнальному виході у нас була напруга логічного «0». Тобто

фототранзистор і змінний резистор будуть працювати як подільник напруги. Коли куля буде пролітати, то вона перекриє інфрачервоний промінь, і опір фототранзистора різко зросте. На сигнальному виводі з'явиться напруга логічної «1».

Таких датчиків повинно бути два, адже необхідно відслідкувати моменти прольоту кулі для певної постійної відстані. Щоб фототранзистори мали максимальну чутливість і не реагували на навколишнє освітлення, прийнято рішення помістити їх в закритий корпус.

Таким чином, для застосування потрібної нам формули розрахунку маємо відому відстань. Залишилося тільки зафіксувати та обрахувати час, що відповідає моментам прольоту кулі. Це робиться за допомогою мікроконтролеру, використавши його системний таймер. Отже в нас є все що необхідно для застосування розрахунку швидкості і тому мікроконтролер з легкістю може її порахувати.

ВИГОТОВЛЕННЯ ДАТЧИКА ДЕТЕКТУВАННЯ ПРОЛЬОТУ КУЛІ

Враховуючи обраний і описаний вище метод детектування прольоту кулі, можна стверджувати, що для виготовлення даного датчику нам знадобиться корпус, який буде використано для закріплення фототранзисторів та інфрачервоних світлодіодів, а також захищатиме їх від впливу зовнішніх факторів(сонячне проміння, частки пилу і т.п.). Для цього було надруковано на 3D принтері трубку, із заздалегідь спроектованими посадковими отворами для фототранзисторів та свідлодіодів. Відстань між посадковими місцями фототранзисторів дорівнює 50мм, з погляду на те, що ця відстань повинна дозволяти упевнено влучати при пострілі в зону фіксування обох фототранзисторів і водночас повинна бути достатньою для точної фіксації проміжку часу, який залежить в свою чергу від тактової частоти мікроконтролера. Змінні резистори прийнято розмістити на корпусі трубки, тому що таке компонування дозволяє зручно налаштовувати чутливість. Фото виготовленого датчика можна побачити на рис.3.

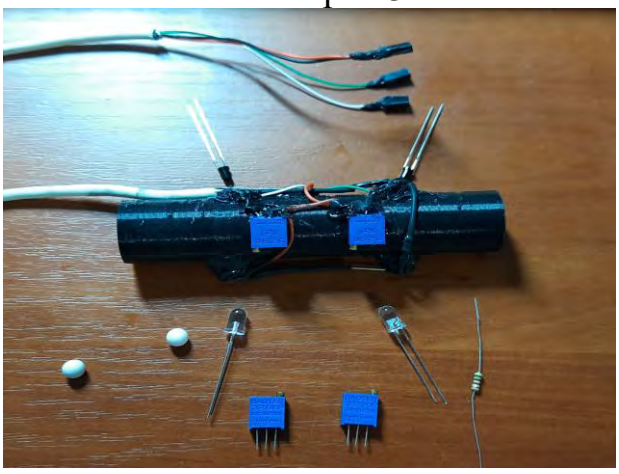


Рисунок 3. Фото виготовленого датчика

Як бачимо датчик є окремою частиною пристрою і може бути від'єднаний від основної плати. До плати він приєднується за допомогою чотирьох

провідників. Це провідник землі, провідник живлення та два сигнальних провідники, по яких мікроконтролер і буде визначати моменти часу прольоту кулі. За рахунок того, що датчик можна від'єднати від основної плати, то відповідно до плати можна під'єднувати датчики інших видів, головне щоб сигнал спрацювання прольоту кулі в них теж був у вигляді переходу з логічного «0» в логічну «1». Варто відмітити, що серед аналогічних пристроїв бувають рамочні датчики або надульні з більшою кількістю фототранзисторів (у вигляді вікна з багатьма фототранзисторами і інфрачервоними світлодіодами, які об'єднані в єдину систему за допомогою компаратора).

ВИСНОВОК

В роботі запропоновано власну структуру пристрою і поставлено вимоги до характеристик основних функціональних блоків. Побудовано блок-схему пристрою, на основі якої проектувалися його основні частини. Запропоновано власний фотоелектронний метод детектування прольоту кулі, який базується на побудові оптопари, з використанням фототранзистора та інфрачервоного світлодіода, закріплених в корпусі, захищеному від сонячного впливу. Проведено тестування створеного пристрою хронографа на базі плати «STM32F4 Discovery» до якої приєднано, за допомогою роз'єму, датчик детектування прольоту кулі. В результаті тестування підтверджено дотримання поставлених вимог та коректної роботи пристрою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] М.К. Самохвалов, «Элементы и устройства оптоэлектроники», учебное пособие для студентов, Ульяновский государственный технический университет, с.63-67, 2003.

[2] Хронограф – аналогічний пристрій/[Електронний ресурс] – Режим доступу: https://radiokot.ru/circuit/digital/measure/53/.

[3] Швидкість кулі і температура/[Електронний ресурс] – Режим доступу: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/33103/1/MM_2017_1_Grashchenkov_Vozdeystvie.pdf

[4] Балістика пострілу/[Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.kaznu.kz/Content/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B3%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0/page8.html

УДК 338.984

М. І. Доцик, студент гр. ПО-01мп, д.т.н., проф. Колобродов В. Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОСМУГОВИХ ПОЛЯРИЗАТОРІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Анотація. У даній статті аналізуються особливості поляризаторів для інфрачервоного випромінювання, які виготовлені на основі WGP технології.

Ключові слова: ймовірність виявлення, поляризаційний тепловізор, поляризаційні характеристики, оптична система

ВСТУП

Класичні тепловізори широко використовуються для виявлення і розпізнавання цілей шляхом реєстрації контрасту яскравості між об’єктом і фоном. За низького контрасту виявлення цілі є досить складним завданням. Для підвищення ймовірності виявлення цілі почали використовувати поляризаційні характеристики інфрачервоне випромінювання фону та цілі. Такі тепловізори визначають інтенсивність, ступінь поляризації та еліптичність і азимутальну характеристику випромінювання об’єкту та фону. Оптична система поляризаційного тепловізора (ПТ) зазвичай складається з інфрачервоного (ІЧ) поляризатора, чвертьхвильової пластинки та ІЧ об’єктива. Досить багато наукових робіт присвячено дослідженню ІЧ поляризаторів та чвертьхвильових пластинок, які забезпечують відповідні перетворення випромінювання. Проте відсутня інформація про моделювання фізичних процесів перетворення випромінювання в оптичній системі (ОС), для визначення характеристик ОС, а також особливостей використання ІЧ поляризаторів та чвертхвильових пластинок. Нами були проведені такі дослідження.

ШИРОКОСМУГОВІ ПОЛЯРИЗАТОРИ

Це найпоширеніший і один з найпростіших поляризаторів для ІЧ випромінювання на основі дротяної сітки. Вони також широко використовуються в дисплеях, датчиках, спектроскопії. Сам дротяний поляризатор складається з масиву металевих ліній на прозорій підкладці. Поляризатори WGP, що можуть працювати у широкому діапазоні, переважно використовуються для в дослідженнях ІЧ-спектру і дозволяє отримати сигнал високої якості. [1] Конструкція структури поляризатора виконана на тонкій кремнієвій підкладці, яка має антирефлективне (АР) покриття.. Moxtek WGP – поляризатори, які працюють в високочастотному і низькочастотному діапазоні ІЧ-діапазону володіють поліпшеними характеристиками у порівнянні з аналогічними продуктами конкурентів. Особливо це стосується контрасту, забезпеченого за рахунок високого відношення стану поляризації. Ця конструкція володіє такими перевагами порівняно з іншими як компактність, стійкість до природних умов та висока яскравість. Вузькосмуговий WGP з покриттям AR (протиблікове покриття) на основі алюмінію для довжини хвилі 7.5 мкм пропускає 94% випромінювання, зберігаючи при цьому коефіцієнт контрасту більше 42 дБ. Типовим пропусканням для середнього ІЧ-діапазону є

95% від інтенсивності падаючого випромінювання для довжини хвилі 3.5-5.5 мкм. За таких умов відношення сигнал/шум приблизно складає 35 дБ на цьому діапазоні довжин хвиль. Для дальнього діапазону (7-15 мкм) коефіцієнт пропускання складає 68% і сигнал/шум — вище 38.5% дБ. Ці характеристики визначалися дослідним шляхом для продукції з кроком 144-250 нм.

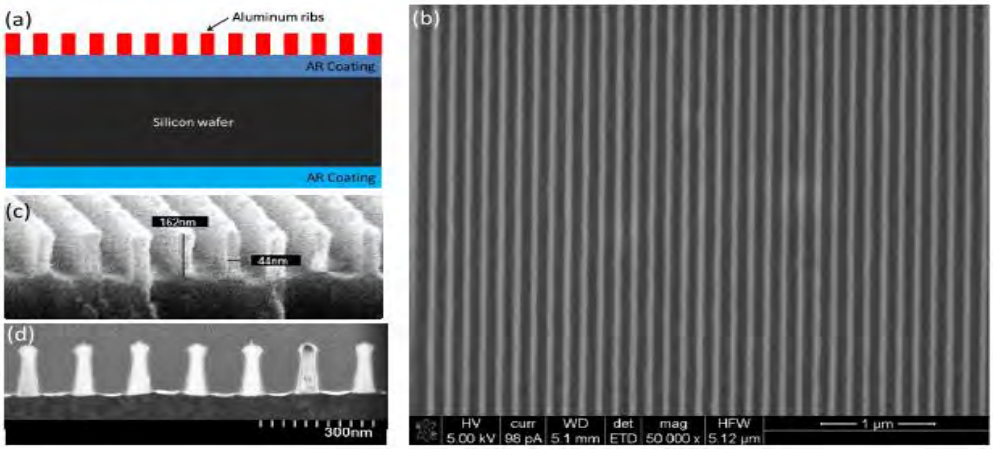


Рисунок 1. Mortex WGP

Широкодіапазонні поляризатори WGP використовуються в інфрачервоній спектроскопії для дослідження характеристик різного роду покриттів, аналізу двопроменезаломлення матеріалів.[2]

Одним з прикладів використання технології WGP є піксельні поляризатори на основі цієї технології. Піксельні поляризатори можуть мати різну структуру, що складається з двох, трьох, чотирьох, або більше елементів, що забезпечують різні кути поляризації. Така конструкція дозволяє визначати властивості зображення, яке дає різну інформацію при різних кутах поляризації.

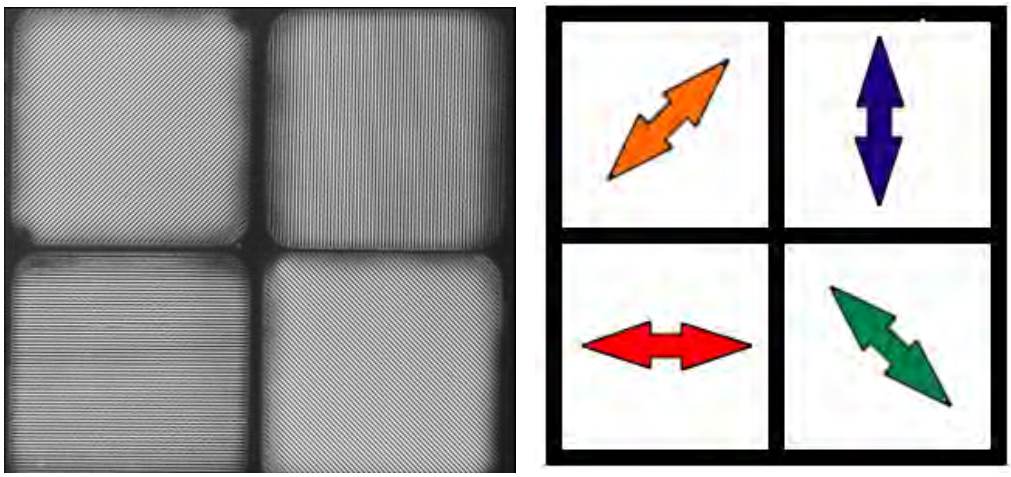


Рисунок 2. Зображення WGP під мікроскопом та схема

У даному випадку на рисунку показано 4-х елементний поляризатор, різниця кута поляризації якого складає 45 градусів. Тобто якщо відобразити це графічно, то схема матиме такий вигляд.

У літературі описано досить багато способів для отримання поляризованого випромінювання в ІЧ-діапазоні, проте останнім часом переходять на поляризатори, зазвичай такі поляризатори складаються з декількох пластинок-

поляризаторів. Плівки розташовані так, що кут падіння – близький до кута Брюстера та мають дуже малу відстань одна між одною. Хоч така конструкція і має високі втрати при відбиванні, проте в результаті світло, яке пройшло через стопку, стає сильно поляризованим, а електричний вектор буде паралельний осі нахилу плівок. Ця конструкція задовольняє діапазон випромінювання від 1мк до 20мк. Переважно властивість поляризації такої конструкції становить 85%-95%, а при використанні високої точності може досягати 99%-99.5%. Берд і Шеркліф зазначають, що в такій високій точності немає сенсу, так як таку ступінь поляризації майже неможливо обробити. Створювати іншу систему з використання даної конструкції дуже складно, так як вона буде дуже громіздка.

У поляризаторах з хлористого срібла зазвичай присутнє розсіювання, тому вони характеризуються низькою пропускною здатністю і низькою поляризацією для більш короткої довжини хвилі, тобто для видимого світла. Окрім того пластинки виготовлені з цього матеріалу піддаються фотолізу, тому їх необхідно захищати від хімічно активного світла.

Оптичне хлористе срібло у вигляді листів виготовляє фірма Harshaw Chemical Co., а поляризатори випускає компанія PerkinElmer. Такі листки набагато товстіші селенових плівок, і при розміщенні або повороті такого поляризатора у пучку випромінюваного пучок суттєво відхиляється. Хлористе срібло менш ефективне, ніж селен, проте воно володіє значно вищою міцністю. І воно не повинно контактувати з металом оправи.[2] Хлористе срібло темніє при освітленні його денним світлом, природним або ртутною лампою, але може використовуватись з джерелами ІЧ-випромінюванням, такими, як штифт Нернста або глобар.

Хлористе срібло використовують для середньої ІЧ-ділянки. Воно має високий показник заломлення, що забезпечує відносно великий кут Брюстера (~63.5°). Цей матеріал робить можливим створення відносно тонких плівок, що важливо для зменшення зсуву пучка, яке зумовлене рефракцією випромінювання, яке проходить.

У деяких випадках для ІЧ поляризаторів використовують надтонкі (1-5мк) селенові плівки. При таких товщинах є несуттєвими ефекти відхилення променю і інтерференції. Експериментальні зразки забезпечують надвисоку поляризацію (~99.7%), а промислові поляризатори, виготовлені компанією «Хильгер і Ваттс», зазвичай дають 96%.

Ще досить часто використовують інші матеріали для створення поляризаторів, наприклад фтористий кальцій і KRS-5. Висока ступінь поляризації (~99%) була отримана використовуючи два послідовні відбиття від межу розділу германій-ртуть. Також поляризатор, виготовлений з 15 шарів тонкої поліетиленової плівки, володіє поляризуючими властивостями для діапазону від 3 до 200 мк.[3]

Виміряно, що відсоток поляризації для інфрачервоного випромінювання, відбитого від германієвого дзеркала, перевищує 99% у дальньому і ближньому діапазоні. Інтенсивність поляризованого пучка приблизно складає 40% від початкової інтенсивності падаючого випромінювання. Перевагою такої конструкції є постійно висока ступінь поляризації для широкого діапазону хвиль,

міцності, простоті виготовлення і поляризаційних властивостях, які не змінюються під впливом часом і сильному падаючому випромінюванню.

ВИСНОВОК

Наразі поляризатори на основі технології WGP широко використовуються для поляризації випромінювання, яке належить інфрачервоному діапазону, так як саме з поляризованого випромінювання можна отримати багато інформації. Завдяки поляризованому випромінюванню можна реалізовувати системи комп'ютерного бачення та інші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Babashah H. Temporal analog optical computing using an on-chip fully reconfigurable photonic signal processor / Babashah, H., Kavehvash, Z., Khavasi, A., & Koohi, S. Optics & Laser Technology, 111, 2019, p. 66-74

[2] Колобродов В. Г. Когерентні оптичні спектроаналізатори: монографія / В. Г. Колобродов, Г. С. Тимчик, М. С. Колобродов . К.: Вид-во «Політехніка», 2015. – С. 77.

[3] Gurton K.P. Enhanced facial recognition for thermal imagery using polarimetric imaging / K.P. Gurton, A.J. Yuffa, Videen G.W. // Optical Society of America. – 2014. – Vol. 39, No. 13. – 3857–3859 pp.

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

УДК 681.7.067.2

Ізатов Р.А., студент гр. ПО-71, к.т.н., доц. Сокуренко В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ІНФРАЧЕРВОГОГО ОБ'ЄКТИВА ДЛЯ ТЕПЛОВІЗОРА

Анотація: В даній роботі виконано перевірку дієздатності алгоритму синтезу нових оптичних систем інфрачервоних (ІЧ) об'єктивів, який базується на засобах глобальної оптимізації. Зокрема, здійснено автоматизований аберраційний синтез оптичної системи 4-лінзового об'єктива з фокусною відстанню 100 мм, відносним отвором 1:1 та кутовим полем зору 12°, який призначений для функціонування в ІЧ-діапазоні довжин хвиль 8…12 мкм (LWIR). Наведені результати розрахунку ІЧ-об'єктива підтверджують відмінну якість виправлення аберацій та результативність запропонованого підходу.

***Ключові слова*:** інфрачервоний об'єктив, тепловізор, модуляційна передавальна функція, глобальна оптимізація.

ВСТУП

Для розроблення тепловізорів різного призначення найбільш інформативним є спектральний діапазон 8…14 мкм, оскільки він збігається з широким вікном прозорості атмосфери та відповідає максимальній випромінювальній здатності багатьох об'єктів спостереження в температурному діапазоні від -10 до +80 °С [1-3].

Охолоджувальні матриці тепловізорів мають достатньо високу чутливість. Температурна чутливість таких матриць може бути меншою за 0,1 ºС. У результаті можуть бути сформовані зображення високим температурним розділенням. Проте, недоліками камер з охолоджувальними матрицями є відносно велике енергоспоживання, висока вартість та час (хвилини) після увімкнення, що потрібно для доведення матриці до робочої температури.

В порівняння з охолоджувальними мікроболометричними матрицями, неохолоджувальні зразки є суттєво більш дешевими та компактними. Незважаючи на нижчу чутливість, вони отримали поширення через тривалий термін служби, низьке споживання енергії, простоту та відносну дешевизну.

Найбільш складним оптичним елементом у структурі тепловізора є його об'єктив. Головними вимогами до його оптичної системи є великий коефіцієнт пропускання та висока якість зображення.

Для коригування аберацій та забезпечення високої просторової роздільної здатності в оптичній системі (ОС) потрібно мати достатню кількість оптичних поверхонь [4]. З іншого боку, кількість лінз в ІЧ-об'єктиві має бути невеликою. Це зумовлено високою вартістю основного матеріалу лінз – германію. На сьогоднішній день вартість об'єктива може складати 40-45 % вартості всього тепловізора (таку ж вартість має й термочутлива матриця).

Дана робота присвячена аберраційному синтезу ОС ІЧ-об'єктива для тепловізора з якістю зображення, високою по всьому полю зображення.

ЗАПРОПОНОВАНИЙ ПІДХІД ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

Для синтезу ОС об'єктива пропонується використовувати один із сучасних методів глобальної оптимізації, закладений в програму проєктування оптичних систем PODIL. Функціональні можливості програми дозволяють здійснити аберраційний синтез в автоматизованому режимі [5-7].

Як приклад для розрахунку було обрано чотирилінзовий об'єктив з фокусною відстанню 100 мм, кутовим полем зору 12° та відносним отвором 1:1.

Під час його параметричного синтезу було встановлено обмеження на мінімальну та максимальну осьові товщини лінз 4 мм і 9 мм, відповідно, мінімальну товщину лінз на краю – 2 мм та максимальне допустиме значення відносної дисторсії – 0,5%.

Оптична схема отриманого ІЧ-об'єктива представлена на рис. 1. Дві зовнішні лінзи виготовлені з германію, а дві внутрішні – з селеніду цинку.

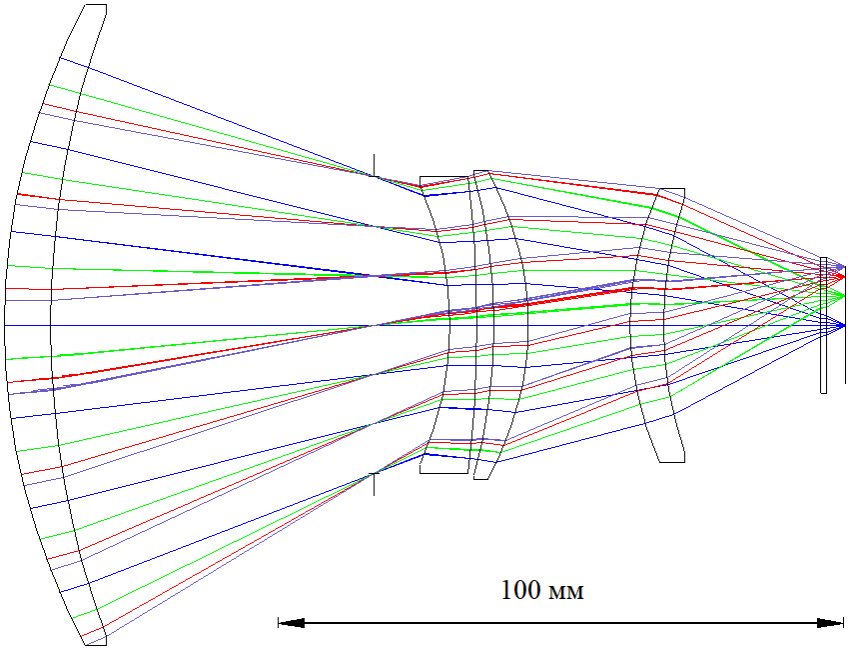


Рисунок 1. Оптична схема з ходом променів розробленого об'єктива для LWIR-діапазону

Як видно з рис. 2, максимальне значення середньоквадратичних радіусів світлових плям в поліхроматичному світлі не перевищує 17 мкм.

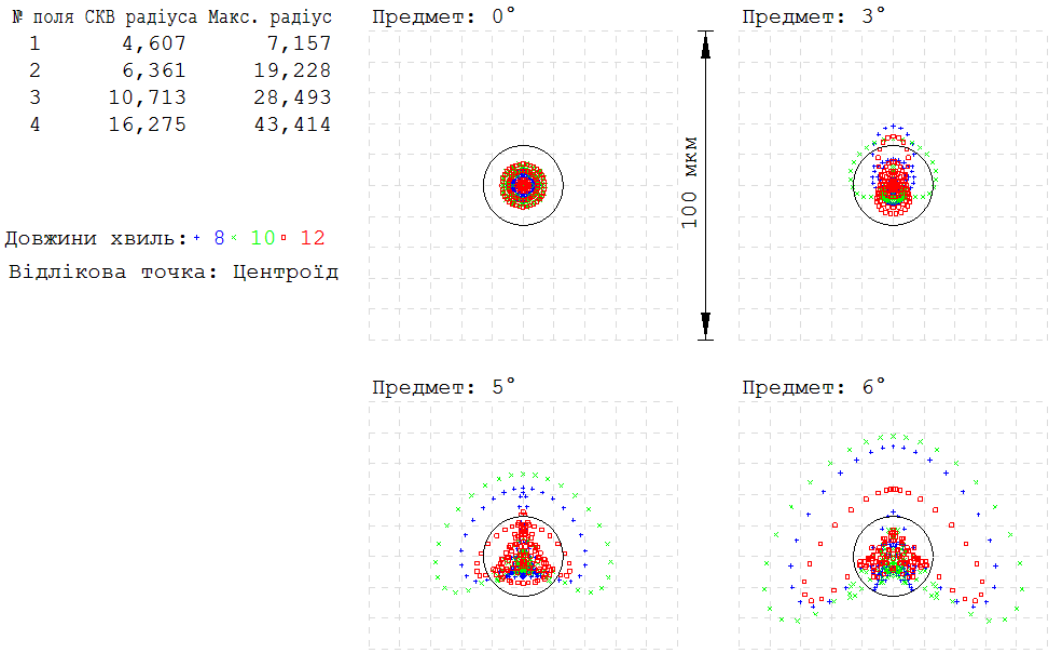


Рисунок 2. Точкові діаграми розробленого об'єктива для LWIR-діапазону

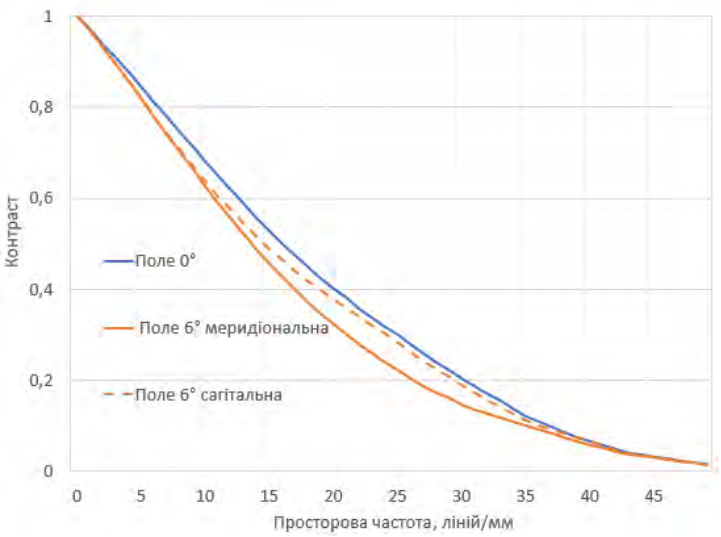


Рисунок 3. Поліхроматичні МПФ розробленого об’єктива для різних точок поля зору

Представлені на рис. 3 графіки поліхроматичних модуляційних передавальних функцій (МПФ) розробленого об’єктива для різних точок поля зору (в центрі поля зору та на периферії зображення) свідчать про досягнуту відмінну якість корекції аберацій, добре збалансовану по полю. Максимальне значення відносної дисторсії не перевищує 0,27%.

ВИСНОВКИ

Запропонований підхід, що базується на алгоритмах глобальної оптимізації, дозволяє в автоматизованому режимі здійснити синтез параметричний оптичної системи об’єктива для ІЧ (LWIR) діапазону відповідно до встановлених конструктором вимог. За якістю зображення розроблений об’єктив не поступається варіантам провідних виробників подібної техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Тепловізори як сучасні інтегровані технічні засоби охорони державного кордону [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://eprints.kname.edu.ua/25007/1/43-49.pdf
[2] Lanzoni D. Infrared Thermography: electrical and industrial applications. Publisher: CreateSpace Independent Publishing Platform. – 2015. – 228 p.
[3] Vollmer M., Möllmann K.-P. Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications. – 2017. – 612 p.
[4] Handbook of Optical Systems: Vol. 3. Aberration Theory and Correction of Optical Systems. / H. Gross, H. Zugge, M. Peschka, F. Blechinger; Edited by Herbert Gross. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. – 2014. – 780 p.
[5] Сокуренко В. М., Буйлов І. С. Застосування адаптивного методу диференційної еволюції Коші для розрахунку об’єктивів // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2016. – № 51(1). – С. 41-47.
[6] Сокуренко В. М., Бондарчук Д. П. Автоматизований параметричний синтез фотооб’єктива зі зменшеною дисторсією // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2018. – № 56(2). – С. 18-24.
[7] 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.

УДК 681.7

Ісаєв В.В., студент гр.ПО-71,к.т.н.,доцент Кучеренко О.К.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЛАЗЕРА В НАПІВАВТОМАТИЧНІЙ ЛАЗЕРНО-ПРОМЕНЕВІЙ СИСТЕМІ НАВЕДЕННЯ РАКЕТ

Анотація. В роботі визначенні вимоги до потужності напівпровідникового лазера в системі лазерно–променевого наведення ракет, при якій співвідношення сигнал/шум $\mu \geq 10$. Враховувались потужність імпульсного лазера при дифракційному обмеженні кута розходження по одній з координат, характеристики оптичної колімаційної системи формування лазерного променю, кут розходження променю, дальність дії системи, характеристики оптичної системи фокусування фотоприймального пристрою, енергетичні характеристики фотоприймача, а також фактори, які пов'язані з втратами потужності лазера в оптичній системі, атмосфері, і обмеженнями апертури фотоприймального пристрою.

Ключові слова: лазерно-променева система наведення, система колімації лазерного променю, фотоприймальний пристрій, втрати потужності випромінювання лазера, чутливість фотоприймач

ВСТУП

Напівавтоматична (командна) лазерно-променева система наведення (ЛПСН) складається з каналів стеження за ціллю і ракетою [1]. Канал стеження за ціллю містить візирний пристрій з приводами горизонтального і вертикального наведення та оператора. Візирний пристрій може бути виконаний у вигляді оптико-візуального або телевізійного прицілів (або їх комбінації). Канал управління ракетою складається з лазерного джерела випромінювання, блоку формування інформаційного поля управління ракетою і шифратора команд. На ракеті встановлюються фотоприймальний пристрій (ФПП).

Оператор за допомогою оптико-візуального або телевізійного прицілу виявляє і розпізнає ціль, а потім після пуску ракети утримує перехрестя прицілу (прицільну мітку) на цілі протягом всього часу польоту ракети. У момент пуску ракета летить за лазерним променем і орієнтується по його осі, яка співпадає з лінією візування цілі (ЛВЦ) оператором. У лазерному промені формується інформаційне поле управління ракетою, в якому вона утримується на ЛВЦ.

МЕТА РОБОТИ

Однією з проблем ЛПСН ракети на ціль є те, що ворожі системи протидії можуть встигнути спрацювати і знешкодити ракету. Дослідження в статті полягає у визначенні мінімальної потужності лазерного випромінювання, при якій ракету буде важко виявити і знешкодити, з урахуванням усіх параметрів, які впливають на фокусування і проходження лазерного випромінювання. При цьому необхідне співвідношення сигнал/шум ФПП буде дотримано.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Один з недоліків напівпровідникових лазерів полягає в великих кутових розмірах індикатриси випромінювання, що можуть призводити до значних втрат потужності випромінювання в ЛПСН. Крім того індикатриса характеризується різними значеннями кутів розходження лазерного випромінювання. у вертикальній і горизонтальній площинах. Розходження у вертикальній площині може більше ніж у два рази перевищувати розходження у горизонтальній площині. У зв'язку з цим при формуванні лазерного променю в першу чергу має

бути вирішене питання забезпечення симетричності індикатриси випромінювання. Зменшення розходження випромінювання лазера у вертикальній площині може бути здійснено за допомогою дифракційної корекції індикатриси випромінювання[2]. В подальшому слід врахувати, що в наслідок такої корекції втрачається 20 – 30% потужності лазера. Дифракційна корекція забезпечує симетричний вигляд індикатриси випромінювання лазера.

Наступним кроком для формування лазерного променю є використання телескопічної системи колімації, за допомогою якої кутові розміри індикатриси зменшуються в Г -разів, де Г – збільшення телескопічної оптичної системи. В якості оптичної системи колімації доцільно скористатися системою Галілея, яка має мінімальні габарити і не формує проміжного зображення, де потужність випромінювання може бути значною.

Потік випромінювання лазера, що потрапляє у вхідну зіницю об'єктива ФПП розташованому у хвостовій частині ракети, визначається залежністю[3]:

$$\Phi(\theta) = \Phi \cdot \exp\left[-2 \cdot \left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^2\right], \quad (1)$$

де θ – кутовий розмір частини індикатриси, яка потрапляє у вхідну зіницю фокусуючого об'єктива з врахуванням відстані до системи колімації лазерного променю; θ0 – розходження лазерного променю після системи колімації; Ф(θ) – потік випромінювання в обмеженому куті θ; Ф – повний потік випромінювання лазерного променю після системи колімації.

З врахуванням (1) співвідношення сигнал/шум на виході фотоприймача дорівнює:

$$\mu = \frac{\Phi \cdot \exp\left[-2 \cdot \left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^2\right]}{I_T} \cdot \cos^4\theta \cdot \tau_{кор} \cdot \frac{A_{об}}{L^2} \cdot \tau_{оп} \cdot S \cdot \tau_a \cdot k, \quad (2)$$

де τкор – коефіцієнт втрат при дифракційній корекції лазерного променю; τа – коефіцієнт пропускання атмосфери; Аоб – площа поверхні фокусуючого об'єктива; L – довжина траси до об'єкта; $\tau_{оп}$ - коефіцієнт пропускання оптичних систем колімації і фокусування лазерного променю; S – чутливість позиційно-чутливого фотоприймача; k – коефіцієнт концентрації лазерного променю за рахунок фокусування; IT – темновий струм фотоприймача.

Важливим питанням при проведенні досліджень є визначення втрат лазерного випромінювання при проходженні атмосфери. Щоб зменшити втрати при проходженні атмосфери, довжина хвилі повинна бути оптимізована. Якщо обмежитись лінійними ефектами взаємодії випромінювання з атмосферою, то інтенсивність лазерного випромінювання в фокальній плямі визначається за формулою:

$$I(\lambda) \approx \frac{P_0}{\left[\theta(\lambda)L\right]^2} \exp\left[-\left(\alpha_{ab} + \alpha_s\right)L\right],$$

де a_{ab} – коефіцієнт молекулярного поглинання; a_S – коефіцієнт аерозольного

поглинання і розсіювання; L – дальність дії; θ(λ) – ефективне розходження лазерного променю. $\alpha_S = 3.745 \cdot 10^{-5} \cdot \nu^{0.8543}$, де a_S вимірюється в км$^{-1}$, ν = 1/ λ – в см$^{-1}$.

Коефіцієнт пропускання атмосфери був знайдений за методом Лангера [4]. У відповідності до цього методу τа для вікна прозорості λ = 950нм дорівнює:

$$\tau_a = k_i \cdot (\omega_i / \omega)^{\beta_i},$$

де κ_i, β_i – сталі коефіцієнти для відповідних смуг прозорості; ω – кількість осадкової води, мм; ωі – визначене в таблиці значення кількості осадкової води. Приймемо для розрахунку умови:

а) L = 2,5 км в ясну погоду в літній період в Київській області;

б)Т = 292 К – середня температура атмосфери в липні;

в) V = 0.51 – відносна вологість повітря.

З таблиць отримаємо значення коефіцієнтів ki= 0.765; βi= 0.134;ωi= 54 .

Після розрахунків отримаємо значення τа = 0,85.

При проходженні потоку випромінювання через оптичну систему частина витрачається на відбивання, поглинання та розсіювання. Кількість випромінювання, що пройшло через систему, характеризується коефіцієнтом пропускання. Для непросвітлених поверхонь, його визначають за формулою [5]:

$$\tau_{оп} = 0.99^{Фл} \cdot 0.96^{Кр\kappa} \cdot 0.95 \quad \cdot 0.93^3,$$

де d – сумарна товщина оптичних деталей вздовж оптичної осі; $Кр$ и $Фл$ – кількість поверхонь з крона і флінта відповідно; $3к$ - кількість дзеркальних поверхонь.

Коліматорна система Галілея і фокусуючий об'єктив ФПП містять типові оптичні елементи, що складаються з склейок деталей з крона і флінта. Якщо визначити загальну кількість цих деталей то загальний коефіцієнт пропускання оптичних систем дорівнюватиме:

$$\tau_{оп} = 0.99^{18 \cdot 10^{-3}} \cdot 0.98^6 \cdot 0.99^6 = 0.834.$$

Скориставшись співвідношенням (2) знайдемо потік лазерного випромінювання для ЛПСН з урахуванням можливих втрат:

$$\frac{S_{об}}{S_п} = \frac{94,24}{0,724} = 130,18$$

$$Ф = \frac{\mu \cdot I_T \cdot L^2}{\exp\left[-2 \cdot \left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^2\right] \cdot \cos^4\theta \cdot \tau_{кор} \cdot A_{об} \cdot \tau_{оп} \cdot S \cdot \tau_a \cdot k}. \quad (3)$$

Для розрахунків за формулою (3) була використана така елементна база:

а) напівпровідниковий лазер L6690-53 компанії Hamamatsu з дифракційною корекцією розходження випромінювання з характеристиками: довжина хвилі λ = 860–880 нм; тривалість імпульсу τ = 100 нс; вихідна потужність Ф = 11 Вт; кути розходження променю після дифракційної корекції в горизонтальній і вертикальній площинах 10°.

б) позиційно-чутливий фотоприймач S2044 компанії Hamamatsu з характеристиками: діапазон спектральної чутливості λ = 320-1060 нм; фоточутливість S = 0.6 А/Вт; темновий струм IT = 5 нА; лінійний розмір

фоточутливої зони 4.7х4.7 мм;

в) система колімації лазерного випромінювання з характеристиками: збільшення Г = 11×; кутове розходження випромінювання на виході – θ0 = 16 мрад; довжина траси L = 2.5 км;

г) фокусуючий об'єктив ФПП з характеристиками: діаметр вхідної зіниці D = 30 мм; фокусна відстань f′ = 50 мм.

Підставивши ці значення у формулу (3) отримаємо:

$$\Phi = \frac{10 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot \left(2.5 \cdot 10^{3}\right)^{2}}{exp\left[-2 \cdot \left(\frac{12 \cdot 10^{-6}}{16 \cdot 10^{-3}}\right)^{2}\right] \cdot \cos^{4}(12 \cdot 10^{-6}) \cdot 0.75 \cdot 0,0007 \cdot 0.834 \cdot 0.6 \cdot 0.85 \cdot 900} = 1.54 Bm$$

ВИСНОВКИ

В результаті дослідження була виявлена мінімальна потужність лазерного випромінювання Ф = 1,54 Вт, яка відповідає відстані враження до цілі 2,5 км при співвідношенні сигнал/шум позиційно-чутливого приймача 10× Враховувалась потужність лазера при дифракційній корекції кута розходження в вертикальній площині, характеристики колімаційної системи формування лазерного променю, фактори, які пов'язані з втратами потужності лазера в оптичній системі, атмосфері і при обмеженні апертури ФПП. Отримане співвідношення для визначення потужності лазерного випромінювання може бути використане в разі іншої елементної бази ЛПСН шляхом підстановки її характеристик і відповідного обчислення. Аналіз співвідношення (3) дає можливість оптимізувати характеристики окремих елементів ЛПСН з метою забезпечення мінімальної потужності лазерного випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Утёмов С. С. Роль и место командных и автоматических лазерно-лучевых систем наведения ракет в зарубежных противотанковых ракетных комплексах // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т.6, №2. – С. 60 – 68.

[2] О. А. Заякин Р. Р. Летфуллин. Уменьшение расходимости излучения широко-полоскового полупроводникового лазера с помощью дифракционной коррекции. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2002. – Т.4, № 1. – С. 55 – 60.

[3] Парвулюсов Ю. Б. Проектирование оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для студентов втузов/Ю. Б. Парвулюсов, В. П. Солдатов, Ю. Г.Якушенков; Под общ. ред. Ю. Г. Якушенкова. – М.: Машиностроение, 1990. – 432 с.

[4] Хадсон Р. Инфракрасные системы. – М.: Мир, 1972. – 534 с.

[5] Ключникова Л. В., Ключников В. В. Проектирование оптико-механических приборов. – СПб .: Политехника, 1995. – 206 с.

Наук. Керівник – к.т.н., доцент Кучеренко О.К

.

УДК 681.7(2)

Д.В. Корнєв, студент гр. ПО-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІНФРАЧЕРВОНИЙ ВІДЕОПОЛЯРИМЕТР

***Анотація*.** В даній статті розглянуті основні варіанти схем побудови інфрачервоних відеополяриметрів, проаналізовані їх переваги та недоліки, а також обрана найкраща схема для реалізації в межах університету на даний момент часу та можливі варіанти поліпшення схеми.

***Ключові слова*:** інфрачервоний відеополяриметр, тепловізор, поляризатор.

ВСТУП

Поляриметричний тепловізор має великий потенціал у ряді сфер, завдяки здатності фіксувати стан поляризації інфрачервоного випромінювання. Головними сферами де може проявити свій потенціал ПТ є військова, медична, комерційна сфера. Головними перевагами є можливість побачити окремі, як правило рукотворні об'єкти на контрасті з оточуючим середовищем та можливість отримати фізичні параметри об'єкту, такі як форма або шорсткість [1]. А також можливість відскановувати об’єкти у 3D модель [2].

ЗАДАЧА

Мета цього дослідження проаналізувати можливі варіанти побудови інфрачервоних відеополяриметрів та вирішити який варіант є найкращим для реалізації в межах університету на даний момент часу і чому.

ІЧВ ТА ОСНОВНІ ВАРІАНТИ ПОБУДОВИ

Інфрачервоний відеополяриметр – прилад, призначений для реєстрації та вимірювання поляризації інфрачервоного (ІЧ) випромінювання з подальшою візуалізацією для користувача.

Є декілька основних варіантів побудови даного приладу:

1. Тепловізор з колесом поляризаційних фільтрів перед ним. Колесо обертається встановлюючи поляризатори під різним кутом.

2. Тепловізор на основі поляризаційної матриці, що містить матричний приймач випромінювання, кожен з пікселів якого містить по 4 субпиксели. Перед кожним субпікселем встановлено поляризаційний фільтр з орієнтацією осі поляризації, зміщеній на 45° [3].

3. Тепловізор з обертальним поляризаційною пластинкою/плівкою. Тепловізор перед яким стоїть поляризаційна пластинка/плівка, яку можна обертати для покращення результатів нагляду за середовищем [4].

4. 2 тепловізори які стоять під певними кутами до нанополяризатора. Нанополяризатор пропускає через себе одну орієнтацію хвилі, а другу відбиває у певному напрямку [5].

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ СХЕМ

Безсумнівно найгіршою є перша схема, адже із-за габаритів та малої швидкості налаштування, вона підходить лише для нагляду за статичним середовищем і не може коректно використовуватися хоча б у мало динамічному середовищі.

Друга схема має найбільшу з усіх швидкодію, проте на даний момент є занадто складною та дорогою у виготовлені при не найкращих характеристиках, таких як габарити або роздільної здатності зображення. Проте з розвитком цієї технології, може стати найкращим варіантом.

У третьої та четвертої схеми спільні переваги та недолік. Перевагою є простота схеми і можливість адаптуватися до будь-якого середовища. Недолік же складається у тому, що необхідний час на налаштування, це значить, що у середовищі з великою динамікою його зміни, більша частина інформації буде пропущена через необхідність переналаштування.

Четверта схема працює вдвічі швидше ніж третя система, проте ця схема є дуже дорогою у виготовлені, адже нанополяризатори виготовляє всього 2 компанії у світі.

ВИСНОВОК ПО СХЕМАМ

Враховуючи усі недоліки кожної схеми, я вважаю, що найбільш доцільно на даний момент часу обрати третю схему на обертальній поляризаціоній пластинці/плівці, адже це найкращий варіант у розділі ціна-якість-ефективність та має декілька напрямків покращення.

ПОКРАЩЕННЯ СХЕМИ

Є 2 основні напрямки покращення схеми:

1. Створити систему динамічного налаштування, що буде автоматично наперед налаштовувати систему з передбаченням зміни динамічного середовища. Такі системи вже розробляються. Вони представляють із себе нейрону мережу, яка аналізує вхідний сигнал тепловізора і повертає поляризатор відповідно до ідеального зображення записуючи положення поляризатора та інші дані створюючи карту змін [6].

2. Додавання до схеми таких самих схем в яких положення поляризатора відрізняється від початкової схеми. Таким чином збільшується швидкість налаштування роботи схеми, так пара схем збільшить швидкість у 2 рази, а 4 схеми у 8 разів.

А також ці напрямки можна поєднати, що приблизить швидкість налаштування роботи ІЧ відеополяризатору майже до швидкості зміни середовища.

ВИСНОВКИ

На даний момент часу ми маємо деяку кількість варіантів побудови ІЧВ, кожен з яких використовується у певних галузях, проте кожен з них не ідеальний і потребує подальшого покращення. З усіх варіантів найкраще виділяється ІЧВ з обертальним поляризаційною пластинкою/плівкою, завдяки своєї простоти та можливості покращити себе. А також ІЧВ на основі поляризаційної матриці, як потенційно найкращий вибір у майбутньому, коли його виготовлення стане дешевшим, а загальні характеристики підвищаться.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Valentin G. Kolobrodov, Grygorij S. Tymchik, Volodymyr I. Mykytenko, Anatolii M. Kylivnyk, Ryszard Romaniuk, Piotr Kisała, Ainur Kozbakova, Bakhyt Yeraliyeva, «Technology of infrared radiation polarizer / Proceedings of SPIE V. 11456», Optical Fibers and Their Applications 2020; Bialowieza, Poland, 1145609 (2020).

[2] Метод определения трехмерной формы объектов на основе поляризационных термограмм, Фесько Ю.А.

[3] «Wavelength- or Polarization-Selective ThermalInfrared Detectors for Multi-Color or PolarimetricImaging Using Plasmonics and Metamaterials», Shinpei Ogawa and Masafumi Kimata.

[4] «A polarimetric longwave infrared imager», Johan Eriksson, David Gustafsson and Niclas Wadströmer.

[5] «Физические основы нанотехнологий фотоники и оптоинформатики», В.С. Кирчанов

[6] «Predicted NETD performance of a polarized infrared imaging sensor», Bradley Preece, Van A. Hodgkin, Roger Thompson, Kevin Leonard, Keith Krapels

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

УДК 681.78:614.841

А.І. Крижній, студент гр. ПО-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СПОВІЩУВАЧІ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

***Анотація*.** В даній статті розглянуті оптико-електронні сповіщувачі пожежної безпеки, їх види, конструкцію та принцип роботи.

***Ключові слова*:** оптико-електронний сповіщувач, датчик задимлення, пожежна безпека.

ВСТУП

У наш час велика увага приділяється створенню систем пожежної безпеки, які служать для захисту людей та їх матеріальних цінностей від вогню. Це пояснюється тим, що загроза, пов'язана з виникненням пожежі, і збиток, який може нанести вогонь, в багато разів перевищує ті, які можуть бути викликані пограбуваннями або крадіжками. Датчики задимлення націлені на те, що б вчасно виявити небезпеку і сповістити про неї.

СПОВІЩУВАЧ ЗАДИМЛЕННЯ, ЗАСНОВАНИЙ НА ПРИНЦИПІ ПОСЛАБЛЕННЯ СВІТЛОВОГО ПОТОКУ

Цей принцип виявлення базується на зміні інтенсивності світла при його проходженні через дим. У вимірювальній камері сповіщувача, на деякій відстані навпроти один одного, розташовані джерело світла та фотоприймач (вони також можуть знаходиться в двох різних корпусах, які розташовані на відстані до 100 метрів навпроти один одного). Якщо в камері сповіщувача немає дыму, то випромінювання, що передається джерелом світла, майже повністю досягає фотоприймача, який генерує певний сигнал, відповідний черговому стану сповіщувача. При наявності димових частинок в камері сповіщувача, а саме між джерелом світла та фотоприймачем, вимірюваний сигнал зменшується до деякого відповідного значення, фіксується та оцінюється блоком обробки сигналу для прийняття рішення про увімкнення тривожного стану.

Зменшенню сигнала сприяють два явища. Одна частина світла поглинається димовими частинками. Інша частина розсіюється, тобто відхиляється від первинного напряму руху. Сумю поглинання і розсіювання світла є послаблення випромінювання. Величина цього послаблення суттєво залежить від відношення розміру димової частинки до використовуваної довжини хвилі. Застосування сучасних джерел світла зі спектром у видимому і ближньому інфрачервоному (ІЧ) діапазоні дає можливість для реалізації принципа послаблення для лінійних сповіщувачів задимлення.

Лінійний сповіщувач задимлення містить приймач, який генерує модульований ІЧ-промінь, сфокусований оптичною системою передавача. Якщо в контрольованій зоні немає диму, велика частина ІЧ-випромінювання досягає відбивача, розташованого навпроти сповіщувача, заломлюється та повертається тим же шляхом до сповіщувача і фокусується на фотоприймач. Таким чином сигнал, що приймається відповідає черговому стану сповіщувача.

При наявності диму в зоні, яка контролюється сповіщувачем, частина ІЧ-випромінювання або поглинається, або розсіюється димовими частинками при

проходженні шляху до відбивача і назад. Таким чином, лише деяка невелика частина ІЧ-випромінювання досягає приймача, що суттєво зменшує сигнал, який він генерує. Це зменшення слугує критерієм для прийняття рішення про генерацію сповіщувачем тривожного сигналу.

Сповіщувачі задимлення, засновані на цьому принципі, здатні виявляти всі димові частинки, які можуть викликати ефект послаблення, тобто світлі і темні, великі і маленькі. Тому вони підходять для раннього розпізнавання пожеж, що супроводжуються димовими частинками будь-якого розміру та кольору.[1-2]

СПОВІЩУВАЧ ЗАДИМЛЕННЯ, ЗАСНОВАНИЙ НА ПРИНЦИПІ РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА

При використанні даного принципу всі компоненти системи виявлення розміщені у вимірювальній камері сповіщувача таким чином, що світло від джерела не може безпосередньо досягати приймача. При відсутності потрапляння світла виробляється мінімальний сигнал, що відповідає черговому стану сповіщувача. При наявності димових частинок в оптичному каналі вимірювальної камери, частина розсіяного світла досягає приймача і викликає збільшення сигналу до деякого значення, яке фіксується і оцінюється блоком обробки сигналу для прийняття рішення про увімкнення тривожного стану.

Вирішальним впливом на збільшення сигналу, є вплив що надають оптичні характеристики димових частинок та щільність диму. Маленькі димові частинки мають значно меншу здатність розсіювати світло, ніж великі частинки. Крім того, інтенсивність розсіювання зменшується в залежності від відношення розміру частинки до використовуваної довжини хвилі. Отже, для даного принципу виявлення розміри димових частинок мають вирішальне значення. До того ж, інтенсивність розсіювання частково знижується через поглинання димовими частинками світла. З цієї причини частинки сажі або «чорний» дим мають інтенсивність розсіювання набагато менше, ніж «білий» дим, що викликаний конденсатом вологи.

Інтенсивність світлового розсіювання в більшості залежить від кута, під яким вимірюється розсіяне світло. Саме тоому існують сповіщувачі, що використовують як пряме так і зворотне розсіювання.

Сповіщувачі задимлення, що засновані на принципі розсіювання світла, в набагато краще виявляють видимі частинки білого кольору і таким чином, більше підходять для типів пожежі, які характеризуються наявністю «білого» диму. [3-4]

ВИДИ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Оптико-електронні сповіщувачі пожежної безпеки поділяються на кілька видів [5]:

- Аспіраційні - примусово беруть повітряні проби на аналіз за допомогою лазерного просвічування;
- Точкові - мають невеликий радіус дії. Проводять контроль приміщення в конк ретній зоні, де велика ймовірність загоряння;

- Лінійні - використовуються в приміщеннях великих обсягів з високими стелями. Являють собою приймач і випромінювач, які монтуються на протилежних стінах приміщення або з’єднуються одним корпусом.

Оптико-електронні сповіщувачі встановлюються в офісних, житлових приміщеннях, на складах, в торгівельно-розважальних центрах, виробничих приміщеннях та скрізь, де знаходиться багато електроприладів та обладнання. В залежності від приміщення, використовують сповіщувачі, що працюють за різними принципами.

ВИСНОВКИ

У сучасному світі загроза виникнення пожежі може з'явиться з різних причин: поломка приладу, людський фактор або випадковий збіг обставин. Оптико електронні сповіщувачі пожежної безпеки, вони ж датчики задимлення, можуть швидко виявити небезпеку і дати достатню кількість часу для дій у відповідь, завдяки своєчасному сповіщенню.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Цапков В.И., Кузьмин В.В. Дистанционный дымовой пожарный извещатель // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. №1 (7).
[2] Кицак А.И., Лущик А.П., Есипович Д.Л., Конон В.Н., Кавальчук И.В., Протасевич О.А., Третьяк И.Б. Конструкция и алгоритм работы лазерного комбинированного пожарного извещателя. Приборы и методы измерений. 2017;8(1):15-22.
[3] Кицак А.И. Двухканальный оптический дымовой извещатель // Доклады БГУИР. 2014. №6 (84).
[4] Неплохов И. Однокомпонентные дымовые линейные пожарные извещатели https://www.proektant.kz/content/159.html
[5] Китиков В.О., Тернов Е.В., Даниленко А.В., Мухуров Н.И., Денисюк С.В. Новые функциональные возможности пожарных извещателей для жилых и промышленных помещений. Приборы и методы измерений. 2019;10(4):341-352.

Наук. керівник – ст.викл. Кравченко І.В.

УДК 681.7.067.324

Ларін О.Є., студент гр. ПО-71, к.т.н., доц. Сокуренко В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ ОКУЛЯРА З ВІДДАЛЕНОЮ ЗІНИЦЕЮ

Анотація. В роботі здійснено автоматизований параметричний синтез оптичної системи окуляра за допомогою сучасного методу глобальної оптимізації. Окуляр має кутове поле зору 33° та призначений для роботи з кольоровим мікродисплеєм формату 0,7 дюйма і віддаленням зіниці ока 50 мм. Результати розрахунку свідчать про досягнуту високу якість корекції аберацій.

Ключові слова: окуляр, віддалення зіниці, мікродисплей, оптична система, аберація, якість зображення.

ВСТУП

Для сучасної бронетехніки важливо мати конструкції оптичних систем (ОС) спостереження або наведення, які б були компактними, зручними та безпечними для оператора. Зазвичай, класичний підхід потребує розташування окулярних модулів біля дійсного зображення, утвореного попередньою частиною ОС (об'єктивом та обертальною системою) [1]. Крім того, до ОС окулярів часто висувають обґрунтовану вимогу суттєвого віддалення зіниці. Для багатьох приладів віддалення зіниці має перевищувати 40…50 мм. Це зумовлює відповідну конструкцію і розташування окулярних частин приладів та ускладнює виконання вищезазначених вимог.

Для забезпечення довільного розташування окулярного модуля раціонально використовувати цифрову техніку, а саме мікродисплеї. Найбільш довершені сучасні зразки базуються на органічних світлодіодних технологіях (OLED) [2-4]. Перевагами OLED-мікродисплеїв є висока роздільна здатність, компактність, мале енергоспоживання та велика яскравість.

Незалежно від закладеної технології функціонування, сучасні мікродисплеї потребують застосування високоякісних ОС окулярів з значним віддаленням вихідної зіниці та заданим видимим збільшенням. Параметричному аберраційному синтезу ОС багатолінзового окуляра, призначеного для роботи з OLED-мікродисплеєм, й присвячена дана робота.

Зазвичай, під час розрахунку ОС окулярів багатьох візуальних приладів типу мікроскопів та телескопів намагаються досягти найвищої якості зображення для предметної точки на осі. Тому якість зображення на периферії поля зору виявляється значно нижчою. Окуляри, призначені для роботи з мікродисплеями, мають забезпечувати високу роздільну здатність по всьому полю зору.

Для розрахунку ОС окулярів відомі декілька методів [4, 5]. На жаль, вони дають якісні результати лише для ОС з помірними значеннями поля зору та відносного отвору, потребують від розробника ОС досвіду та/або наявності стартової ОС, наближеної до оптимального розв'язку. На сьогодні відсутні аналітичні методи розрахунку ОС багатолінзових ОС, в тому числі окулярів. Тому стверджувати, що ця проблема повністю вирішена, не можливо.

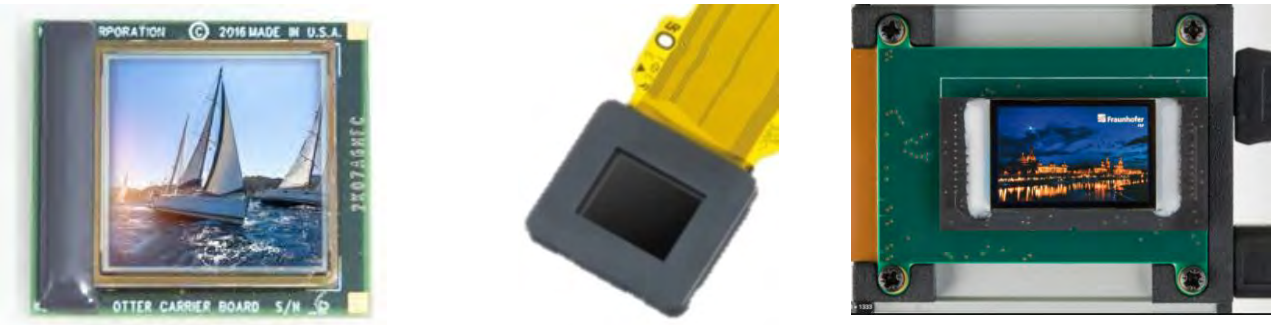
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Задачею даного дослідження є розробка високоякісної ОС окуляра з віддаленою зіницею, призначеного для роботи с сучасним зразком

різнокольорового OLED-мікродисплея.

СУЧАСНІ МОДЕЛІ МІКРОДИСПЛЕЇВ

На рис. 1 представлені сучасні комерційні зразки OLED-мікродисплеїв, розроблені провідними світовими компаніями [7–9]. Розмір їх діагоналей знаходиться в межах від 0,6" до 1", роздільна здатність – від 1280×1024 до 4094×2464, кількість пікселів – від 1,3 МП до 10 МП, а розмір пікселів – від 3 до 9 мкм.



а *б* *в*

Рисунок 1. Сучасні мікродисплеї провідних виробників [8–10]: а – Kopin 2K OLED; б – Sony ECX339A; в – LOMID Fraunhofer

ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ОКУЛЯРА

В даній роботі було здійснено параметричний аберaційний синтез ОС шестилінзового окуляра, призначеного для функціонування у видимому спектральному діапазоні 0,47...0,65 мкм. Для визначеності було обрано мікродисплей формату 0,7 дюйма, діаметр вихідної зіниці – 5 мм, віддалення вихідної зіниці від останньої оптичної поверхні – 50 мм.

Методика розрахунку зводилась до автоматизованого параметричного синтезу ОС в програмному забезпеченні PODIL з використанням вбудованих алгоритмів глобальної оптимізації.

Початкова ОС задавалась у формі плоско-паралельних пластин. Значення радіуса кривизни останньої оптичної поверхні визначалось програмою автоматично за заданим фіксованим кутом з оптичною віссю вихідного апертурного променю осьового пучка. Це дало змогу забезпечити стале значення задньої фокусної відстані окуляра (30 мм) під час пошуку розв’язку.

Для розрахунку були встановлені такі обмеження на:

- осьові товщини лінз: від 2,8 до 10 мм;
- повітряні проміжки: від 0,1 до 3 мм;
- мінімальну товщину лінз на краю: 2 мм;
- максимальне значення загальної товщини: 100 мм;
- максимальне значення відносної дисторсії по полю: 0,5 %.
- допустиме віддалення площини зображень: 7…12 мм.

Під час розрахунку марки скла обиралися програмою автоматично з каталогу "CDGM". Для склеєних лінз додатково контролювалася абсолютна різниця температурних коефіцієнтів розширення суміжних марок скла (для

роботи в широкому температурному діапазоні ця різниця не повинна була перевищувати $3 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}).

Оптична схема розробленого окуляра представлена на рис. 2. Окуляр має кутове поле зору в просторі зображень 33° та видиме збільшення дорівнює 8,33×.

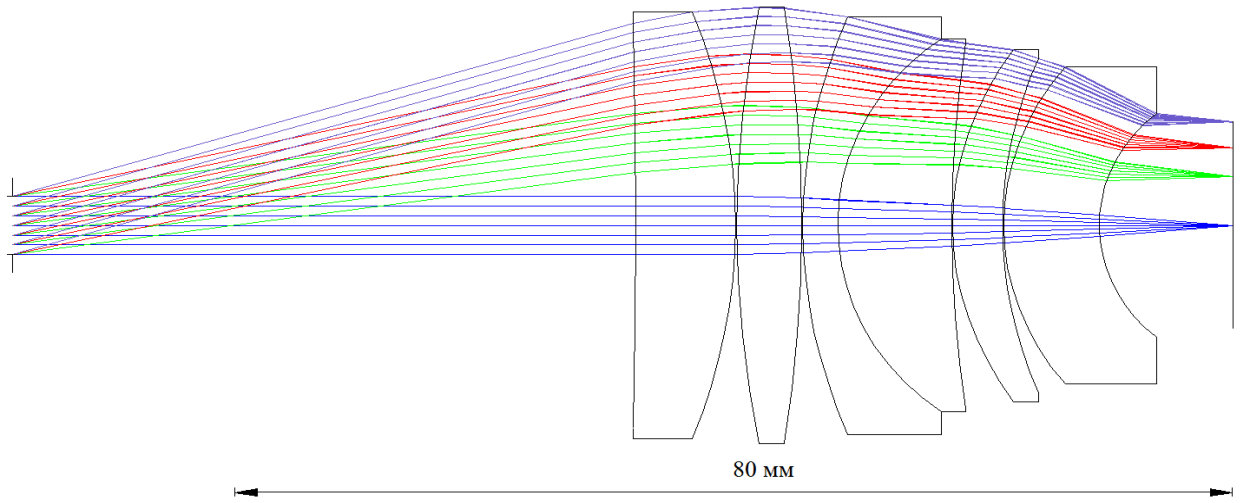


Рисунок 2. Оптична схема синтезованого окуляра з віддаленою зіницею (схема показана в зворотному ході променів)

Досягнуту якість корекції аберацій можна оцінити за графіками поліхроматичних модуляційних передавальних функцій для різних точок поля зору, приведеними на рис. 3. Максимальне значення відносної дисторсії не перевищує 0,5 %.

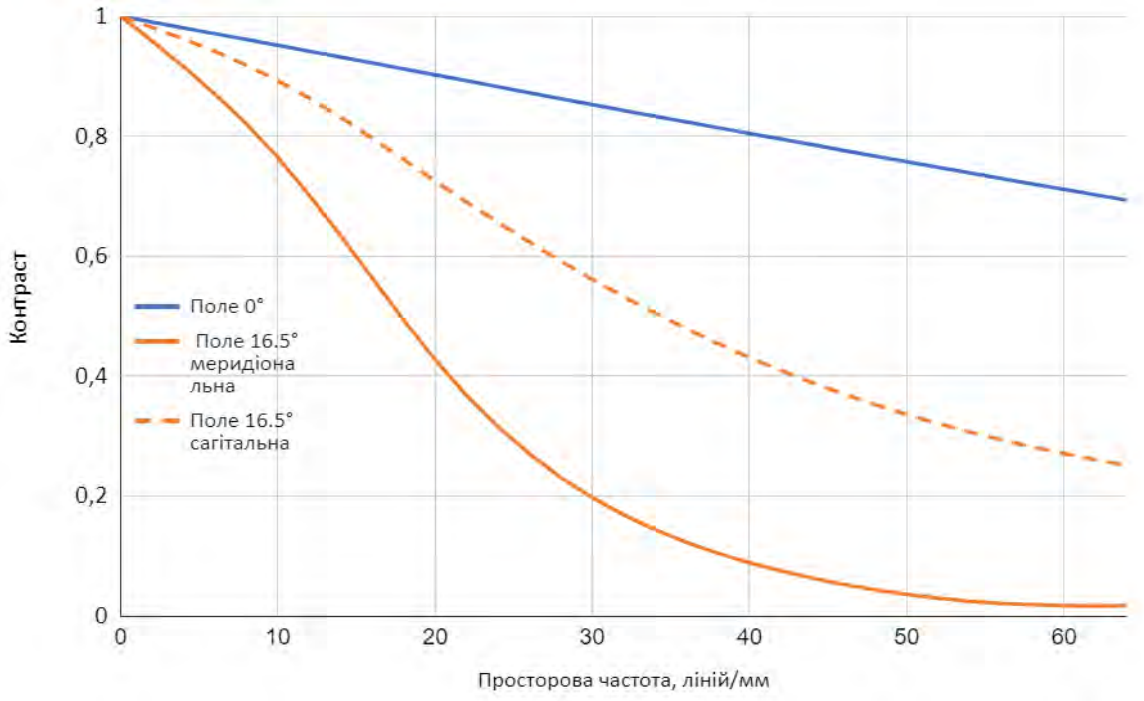


Рисунок 3. Графіки поліхроматичних модуляційних передавальних функцій розрахованого окуляра з віддаленою зіницею для осьового та периферійного пучків

ВИСНОВКИ

Запропонований підхід, що базується на використанні можливостей глобального оптимізатора програми проектування оптичних систем PODIL, дозволив здійснити параметричний аберраційний синтез оптичної системи шестилінзового окуляра в автоматизованому режимі. Перевагами розрахованої оптичної системи окуляра є значне віддалення зіниці ока (50 мм), мала дисторсія (0,5 %) та висока роздільна здатність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Лепешинский И. Ю., Глебов В. В., Брусникин Е. В., Погодаев Д. В. Устройство оружия и его боевое применение. Омский государственный технический университет. 2012. – 225 с.
[2] Haas G. Microdisplays for Augmented and Virtual Reality. SID Symposium Digest of Technical Papers. – 2018. Vol. 49. No. 1, P. 506–509.
[3] Слюсарев, Г. Г. Методы расчета оптических систем / Г. Г. Слюсарев. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – Л. : Машиностроение, 1969. – 672 с. : ил.
[4] Русинов М. М. Композиция оптических систем / Русинов М. М. – Л.: Ленинградское отделение, 1989. – 383 с.
[5] Kopin Unveils ‘Lightning’ 2k×2k 120Hz OLED Microdisplay for Mobile VR. Режим доступу: Kopin Unveils Lightning 2k x 2k 120Hz OLED Microdisplay for Mobile VR | Lightning, Virtual reality, New technology (pinterest.com)
[6] LOMID H2020 project. Режим доступу: http://www.lomid.eu/.
[7] Шаг пикселя нового OLED-микродисплея Sony – Режим доступу: Шаг пикселя нового OLED-микродисплея Sony для видоискателей камер и гарнитур AR/VR составляет рекордно малые 6,3 мкм - ITC.ua

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

УДК 621.384.3

Линник К.В., студентка гр. ПО-71, д.т.н., проф. Чиж І.Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТЕПЛОВІЗІЙНИЙ ДАЛЕКОМІР НИТЯНОГО ТИПУ

Анотація. Розкрита актуальність завдання виявлення та оцінки відстані до об'єкта за допомогою оптико-електронних засобів, дана класифікація цих систем, продемонстровані системи виявлення та оцінки відстані на базі тепловізійного далекоміра нитяного типу, наведені перспективні шляхи розвитку даних систем.
Ключові слова: тепловізор, далекомір, трансфокатор, афокальні насадки.

ВСТУП

Тенденція розвитку сучасного озброєння спрямована не стільки на збільшення потужності зброї, скільки на підвищення точності і, як наслідок, - збільшення ймовірності поразки цілі. Очевидно, що під високоточною зброєю (СОТ) слід розуміти не тільки балістичні і тактичні ракети з тепловим наведенням, але і стрілецьку зброю, оснащену сучасними прицільними пристроями. Вирішальну роль у розвитку СОТ відіграло створення сучасних оптико-електронних засобів прицілювання, наведення, розвідки і спостереження [1].

Важливість та актуальність завдання виявлення, а також оцінки відстані до об'єкта, за допомогою оптико-електронних засобів, супротивника в процесі ведення бойових дій і особливо в період, що передує висуненню підрозділів на відкриту місцевість для проведення атаки або контратаки, очевидні.

За призначенням подібні системи можна поділити на: розвідувальні, призначені тільки для виявлення оптико-електронними засобами цілі з можливістю передачі даних на системи вогневого придушення, і на системи виявлення та безпосереднього придушення.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Для збільшення точності роботи далекоміра потрібно використовувати ручний тепловізор, до якого додається приставка у вигляді трансфокатора, який у свою чергу працює в ІЧ діапазоні. Сам далекомір має нитяний метод вимірювання дальності по вимірюванню зображення об'єкта.

ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Вимірювання відбувається шляхом зміни кутового збільшення афокальними насадками, прикріпленими до стаціонарного об'єктиву тепловізора (з фіксованою фокусною відстанню) та підгонки зображення, розміщеного між нитками на екрані монітора далекоміра, з автоматичним розпізнаванням даних про фокусну відстань об'єктива з афокальними насадками (фокусна відстань штатного об'єктива множиться на отримане при підгонці кутове збільшення афокальної насадки), а також автоматичним розрахунком дальності по обраному типу об'єкта з винесенням результату розрахунку (відстані до об'єкта) на екран монітора.

Випромінювання зірок і (або) місяця, визначає рівень природної нічної

освітленості, відбивається від об'єкта, що спостерігається і навколишнього його тла, проходить в об'єктив 1, який створює зображення об'єкта і фону на фотокатоді. ЕОП 5. Він перетворює зображення у видиме і підсилює його по яскравості, при цьому зображення в ЕОП переноситься з фотокатода на екран без обертання. З екрану ЕОП 5 перший компонент 6 перший компонент лінзовий обертаючої системи передає зображення через дзеркала 8 і 9 світлоділильного елемента 7 у ліву і праву окулярні гілки, відповідно. Зображення на виході другого компонента першої лінзової обертаючої системи (10 для лівої, 11 - для правої обертаючої гілки, відповідно) обертає зображення на 180°. За допомогою першого окулярного плоского дзеркала зображення передається у фокальній площині вхідного компонента другої лінзової обертаючої системи, потім на виході вихідного компонента ще раз обертається на 180° і через друге окулярне плоске дзеркало передається у фокальній площині окуляра лівій і правій гілці, відповідно. Через окуляр зображення спостерігається, відповідно, лівим і правим оком оператора. За допомогою першого напівпрозорого дзеркала зображення передається в об'єктив, який переносить це зображення на ПЗС-матрицю ТВ-камери або цифрової фотокамери, або на фотоплівку фотокамери.

Завдяки даному схемному рішенню поздовжній габарит окулярів нічного бачення не перевищує 55 мм, у той час як кращі зарубіжні аналоги мають поздовжній габарит не менше 80 мм, а традиційні окуляри нічного бачення - 135 мм [2]. Це забезпечує різке скорочення перекидаючого моменту, порівняно малі навантаження на шийні і лицеві м'язи оператора, а також знижує його стомлюваність.

На рисунку 1 представлена узагальнена функціональна схема тепловізора з фокальною ІЧ матрицею.

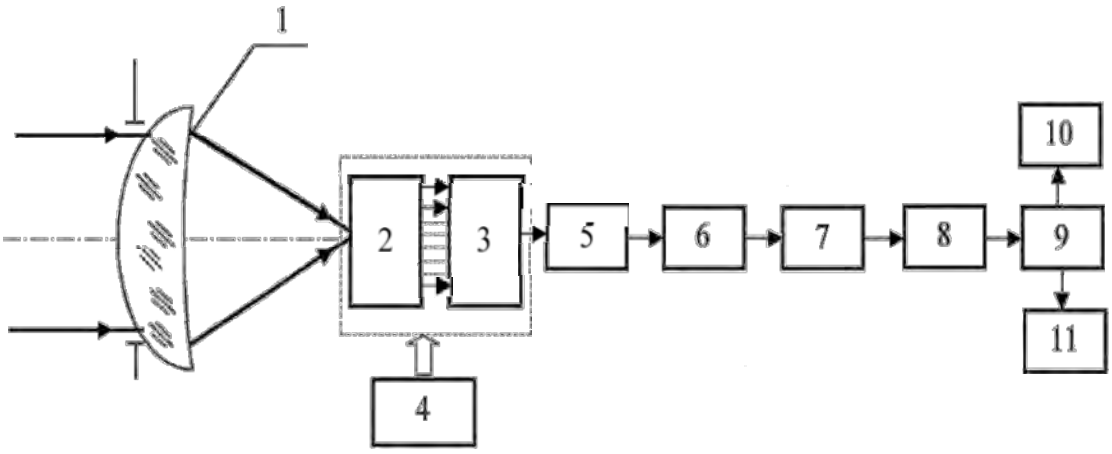


Рисунок 1. Узагальнена функціональна схема тепловізора з фокальною матрицею:
1 – оптична система; 2 – фокальна матриця з підсилювачами; 3 – мультиплексор; 4 – система охолодження; 5 – коректор неоднорідності характеристик чутливих елементів; 6 – аналого-цифровий перетворювач; 7 – цифровий коректор неоднорідності; 8 – коректор непрацюючих осередків; 9 – формувач зображення; 10 – дисплей; 11 – цифровий вихід.

Фокальні матриці виготовляються як функціонально закінчені фотоприймачі (ФП), що включають систему охолодження, підсилювачі, мультиплексор, коректор неоднорідності характеристик чутливих елементів,

аналого-цифровий перетворювач, блоки цифрової обробки і формувач вихідних сигналів. Сигнали з виходу такого ФП можуть передаватися на відеоконтрольний пристрій (ВКП) телевізійного типу або у цифровому вигляді в блоки цифрової обробки.

ВИСНОВКИ

Завдяки широкому полю зору прилада і якісної оптики стає можлива детальна оцінка об'єкта спостереження. Тепловізійний далекомір нитяного типу допоможе точно розрахувати відстань до цілі.

Ефективне використання тепловізора визначається раціональністю вибору конкретної моделі або модифікації в залежності від необхідних технічних характеристик. Варто зауважити, що на ділянках підрозділів охорони державного кордону, де використовуються прожекторні станції, сигнальні пістолети, необхідно передбачити такий режим використання тепловізорів, що не призводитиме до вигорання окремих зон термочутливої матриці.

Таким чином, тепловізійні прилади і системи необхідні для забезпечення безпеки об'єктів, розташованих на протяжних територіях, наприклад, на великих підприємствах, родовищах, авіаційних і морських портах, військових об'єктах і державному кордоні. Перспективи розвитку систем відеоспостереження стосовно завдань охорони периметра лежать, в основному, у подальшому розвитку відеоаналітики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Как работают тепловизионные системы [Електронний ресурс] / Научно-производственный центр антитеррористической и криминалистической техники. – Режим доступу: http://www.spektr-at.ru/catalogue/teplo/howto.html

[2] Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Контроль та вимірювання параметрів рідин і газів» / [С.С.Антоненко, Е.В.Колісніченко]. - Суми: Вид-во СумДУ, 2019. – 199 с.

[3] Тепловизоры. Принцип работы [Електронний ресурс] / Испытательная лаборатория теплового неразрушающего контроля. – Режим доступу: http://aosyst.kz/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=41&Itemid=69

[4] Царьов Ю. О. Засоби візуального спостереження охорони державного кордону: навч. посібник / Ю. О. Царьов, Д.А. Купрієнко. – Хмельницький: Вид-во НАДПСУ, 2016.

[5] Колючкин В. Я. Тепловизионные приборы и системы: учеб. пособие / В.Я. Колючкин, Г.М. Мосягин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 60 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Чиж І.Г.

УДК 681.7.067

Проскурін В.С., студент гр. ПО-71, д.т.н., доц. Сокуренко В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИЛАДУ НІЧНОГО БАЧЕННЯ ЗІ ЗБІЛЬШЕНИМ КУТОМ ОГЛЯДУ

Анотація. Однією з важливих тенденцій розвитку сучасних приладів нічного бачення є поліпшення їх функціональних можливостей та якості зображення. В даній роботі здійснено автоматизований параметричний синтез оптичних систем об'єктива і окуляра для приладу нічного бачення, що базується на використанні електронно-оптичний перетворювача третього покоління. Оптична система відрізняється значним кутом поля зору в просторі предметів (48°), високою роздільною здатністю та малою дисторсією як об'єктива, так і окуляра (3%).

Ключові слова: прилад нічного бачення, електронно-оптичний перетворювач, об'єктив, окуляр, роздільна здатність.

ВСТУП

Прилади нічного бачення (ПНБ) знайшли широке застосування переважно у військовій справі для розвідки та спостереження об'єктів в умовах малої освітленості [1]. Основними проблемами багатьох сучасних зразків таких оптико-електронних приладів є недостатня якість зображення (особливо на периферії) та обмежений кут поля зору.

Якість зображення ПНБ визначається класом використаного електронно-оптичного перетворювача (ЕОП) та ступенем корекції аберацій оптичних компонентів об'єктива і окуляра.

На відміну від поширених ЕОП другого покоління, ЕОП третього покоління принципово відрізняються від своїх попередників високоефективним напівпровідникових фотокатодами, виготовленими на основі арсеніду галію (AsGa) [3]. Вони мають більшу чутливість та загальний коефіцієнт підсилення яскравості. Через це часто ПНБ, розроблені на їх основі, не потребують додаткового ІЧ-підсвічування. Тому третє покоління ЕОП цінується серед військових та співробітників силових структур [4]. На сьогодні, ПНБ, оснащені такими ЕОП, здатні працювати при низьких рівнях освітленості – до 10-5 лк (нічне небо, затягнуте хмарами) [5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою роботи є розробка високоякісних оптичних систем об'єктива та окуляра зі значними кутовими полями огляду. Для максимального використання можливостей ЕОП третього покоління, роздільна здатність кожного оптичного компонента по всьому полю має бути щонайменше 50 ліній/мм. При цьому відносна дисторсія, як об'єктива, так і окуляра, не повинна перевищувати 3 %.

РОЗРАХОВАНІ ОПТИЧНІ СИСТЕМИ

В даній роботі було здійснено параметричний аберацийний синтез оптичної системи семилінзового об'єктива, призначеного для функціонування у спектральному діапазоні 0,6...1 мкм, та восьмилінзового окуляра, що працює у видимому спектральному діапазоні (0,47...0,65 мкм).

Для визначеності було обрано: кутове поле зору в просторі предметів – 48°; кутове поле зору в просторі зображень – 60°; відносний отвір об'єктива 1:2;

діаметр вихідної зіниці – 5 мм та віддалення вихідної зіниці від останньої оптичної поверхні – 16 мм (це дозволяє оператору використовувати класичні окуляри для корекції зору). З урахуванням цих вимог, а також діаметрів фотокатода і екрану вибраного ЕОП третього покоління (18,5 мм), задня фокусна відстань об'єктива повинна дорівнювати 22 мм, а окуляра – 16,7 мм.

Сутність розрахунку зводилась до автоматизованого параметричного синтезу оптичних компонентів в програмному забезпеченні PODIL з використанням засобів глобальної оптимізації. Такий підхід раніше призводив до успіху під час розрахунку різних типів ОС [6-8].

Початкова ОС задавалась у формі плоско-паралельних пластин. Значення радіуса кривизни останньої оптичної поверхні визначалось програмою автоматично за заданим фіксованим кутом з оптичною віссю вихідного апертурного променю осьового пучка. Це дало змогу забезпечити стале значення задньої фокусної відстані оптичного компонента під час пошуку розв'язку.

Під час розрахунку автоматично враховувалися обмеження на осьові товщини лінз, повітряні проміжки, мінімальну товщину лінз на краю (1,5 мм), загальну довжину компонента, максимальне допустиме значення відносної дисторсії (3 %) тощо.

Під час розрахунку марки скла обиралися програмою автоматично з каталогу "CDGM". Для склеєних лінз окуляра додатково контролювалася абсолютна максимальна різниця температурних коефіцієнтів розширення склеєних марок скла (3·10-6 °C-1).

Оптичні схеми розроблених компонентів представлені на рис. 1 і 2. Якість корекції аберацій можна оцінити за графіками поліхроматичних модуляційних передавальних функцій (МПФ) для різних точок поля зору, приведеними на рис. 3 і 4.

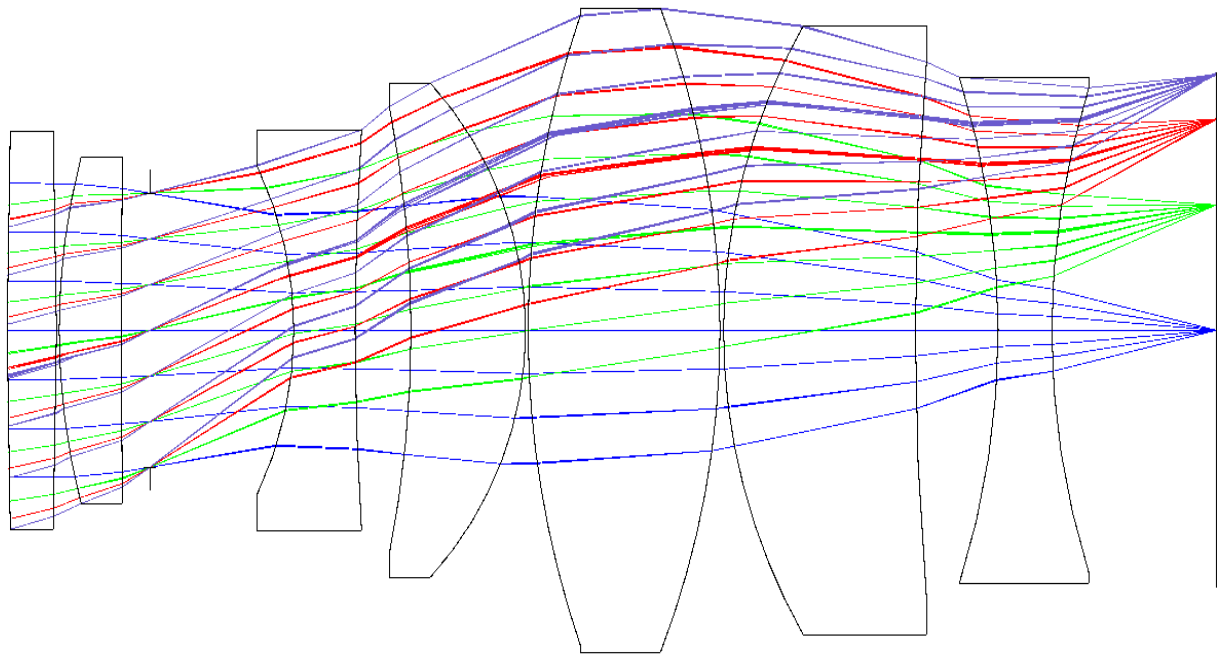


Рисунок 1. Оптична схема синтезованого об'єктива (в прямому ході променів)

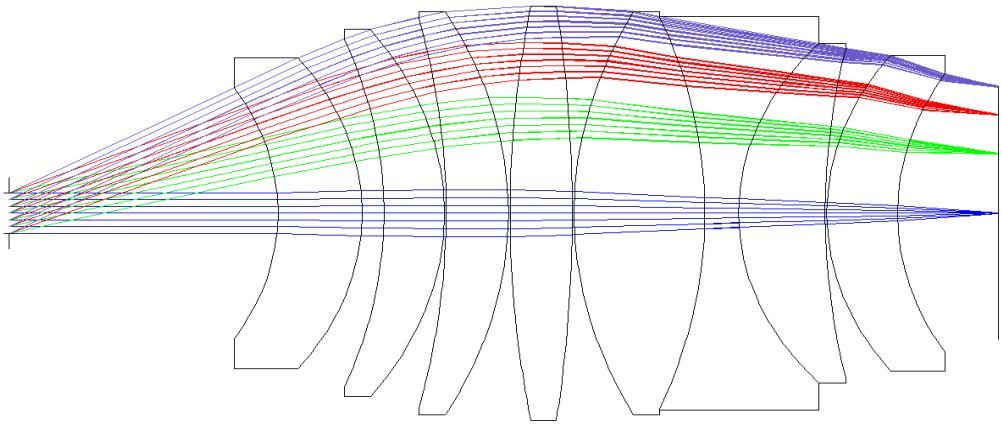


Рисунок 2. Оптична схема синтезованого окуляра (в зворотному ході променів)

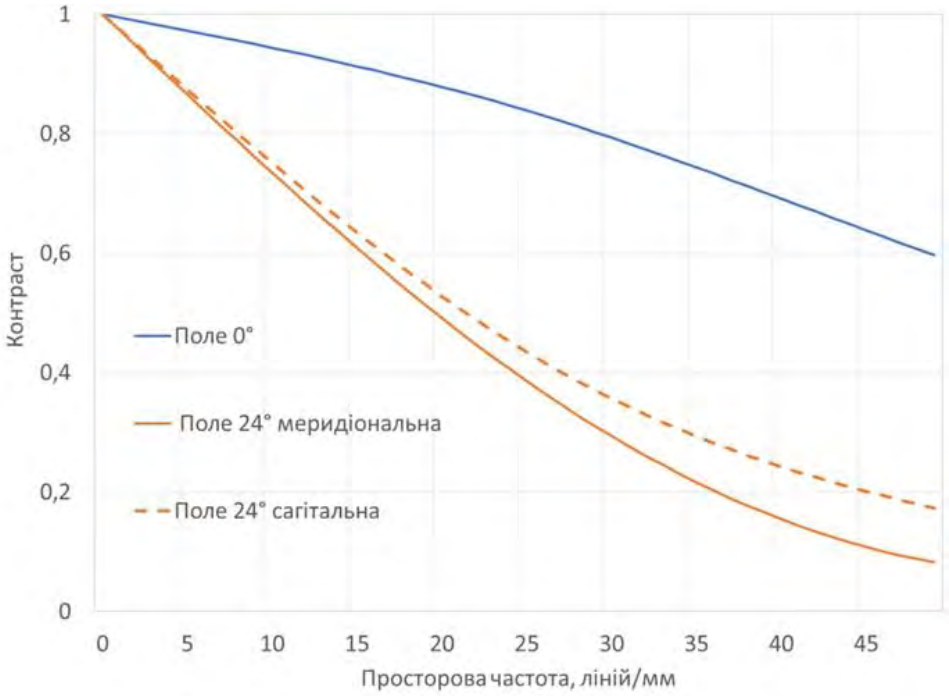


Рисунок 3. Графіки поліхроматичних МПФ розрахованого об’єктива ПНБ

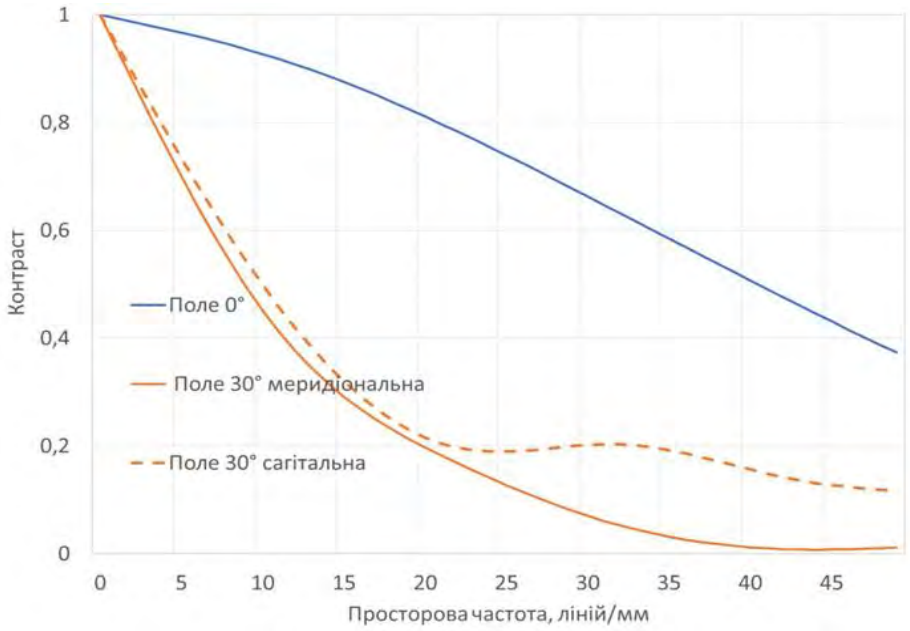


Рисунок 4. Графіки поліхроматичних МПФ розрахованого окуляра ПНБ

ВИСНОВКИ

Розраховані оптичні системи об’єктива і окуляра мають малу дисторсію та високі значення поліхроматичних МПФ, що задовольняють ефективно застосовувати ЕОП третього покоління в ПНБ зі збільшеним полем огляду. Якість зображення є високою не лише в центрі поля зору, а й на периферії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Прибор ночного видения (в разделе «Приборы») // Советская военная энциклопедия / Огарков Н. В.. – Москва: Военное издательство Министерства обороны СССР. – 1978. – Т. 6. – С. 522-671.

[2] Всё о различиях в поколениях ЭОП[Електронний ресурс] Optic4v.ru – 2020 – Режим доступу: https://www.optic4u.ru/info/articles/2016/vse-o-razlichiyakh-v-pokoleniyakh-eop/.

[3] Бегучев В. П., Чапкевич А. Л., Филачев А. М. Электронно-оптические преобразователи. Состояние и тенденции развития // Прикладная физика. – 1999. – №2.

[4] Гейхман И. Л., Волков В. Г. Видение и безопасность. – М: Новости. – 2009. – 840 с.

[5] Козелкин В. В., Усольцев І. Ф. Основи інфрачервоної техніки. – М: Електронно-оптичні перетворювачі. – 1985.

[6] Сокуренко В. М., Макаренко Я. І. Розробка оптичних систем методами глобальної оптимізації // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2015. – № 50(2). – С. 51-60.

[7] Сокуренко В. М., Вакуленко М. М. Автоматизований розрахунок окулярів з дифракційними оптичними елементами // Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. – Хмельницький. – 2018. – №1 (257). – С. 107-112.

[8] Сокуренко В. М., Бондарчук Д. П. Автоматизований параметричний синтез фотооб’єктива зі зменшеною дисторсією // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2018. – № 56(2). – С. 18-24.

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

УДК 621.384.3

В.С. Танчук, Ю.О. Полякова, студенти гр. ПО-71, д.т.н., проф. В.Г. Колобродов
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ МАЛИХ ЦІЛЕЙ В ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ НА ОСНОВІ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. У даній роботі розглянуто і запропоновано метод виявлення цілі малих розмірів в інфрачервоному діапазоні випромінювання на основі декомпозиції поляризаційної інформації. Запропоновано алгоритм для реалізації даного методу. Виконані дослідження та порівняння запропонованого методу з існуючими методами.
Ключові слова: поляризація, декомпозиція, інтенсивність, вектор Стокса, фон, контрастність.

ВСТУП

Метод виявлення малих цілей в інфрачервоному діапазоні на основі декомпозиції поляризаційної інформації побудований на основі поляризаційних характеристик цілі. Даний метод може ефективно використовуватись в системах протиракетної оборони і протиповітряної оборони, системах раннього попередження і розвідки, повітряних ударів і в інших подібних областях.

Цільова сцена часто частково поляризована і може бути розкладена на суму лінійно поляризованих компонентів і компонентів природного світла. І якщо компоненти природного світла можуть бути розкладені на суму лінійно поляризованих компонент, то це дозволяє змогу виявити цілі [1].

РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ

Алгоритм виявлення малої цілі даного методу має не менше трьох напрямків поляризації. Реалізація виглядає наступ чином:

1) Розрахунок стану поляризації для цільової сцени:

Довільне інфрачервоне поляризоване світло можна виразити за допомогою вектору Стокса, отримавши мінімум три напрямки поляризації ($I^{\theta 1}, I^{\theta 2}, I^{\theta 3}$), щоб розрахувати систему рівнянь. Систему складаємо із рівняння [2]:

$$I^{\theta} = I' \cdot \frac{1}{2}\left(I + Q \cdot \cos(2\theta) + U \cdot \sin(2\theta)\right) \tag{1}$$

де I, Q, U, V – параметри Стокса.

Використавши знайдені параметри, розраховується вектор S, ступінь поляризації P і кут поляризації A [3].

2) Розкладання стану поляризації для цільової сцени:

Стан поляризації цільової сцени в більшості випадків частково поляризований і може бути розкладений на суму лінійно поляризованих компонентів і компонент природного світла:

$$I_P = \sqrt{Q^2 + U^2 + V^2} \tag{2}$$

$$I_N = I - \sqrt{Q^2 + U^2 + V^2} \tag{3}$$

де I_P, I_N – інтенсивність поляризованої та природної складових відповідно.

3) Обчислення змінної складової поляризації $I^{\overline{A}-\pi/2}$.

Враховуючи напрямок поляризації θ, як $\bar{A}-\pi/2$, інтенсивність складової поляризації $I^{\bar{A}-\pi/2}$ може бути розрахована перпендикулярно напрямку середнього значення кута поляризації A за допомогою рівняння (1). Тим самим придушується лінійно поляризована складова інтенсивності фонових пікселів $I_{ФП}^{\bar{A}-\pi/2}$ [1].

4) Виділення лінійно поляризованої світлової складової із змінної поляризаційної складової:

Використовуючи обчислені результати з двох вищевказаних кроків, ми вилучаємо поляризаційну складову природного світла $I_N^{\bar{A}-\pi/2}$ з поляризаційної компоненти $I^{\bar{A}-\pi/2}$, зберігаючи лінійно поляризовану світлову складову цільових пікселів $I_{TP}^{\bar{A}-\pi/2}$.

5) Повне виявлення малої цілі:

Виконується виявлення порогових значень, використовуючи певний поріг $I_{TP}^{\bar{A}-\pi/2}$.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ І ПОРІВНЯННЯ

Для дослідження запропонованого методу були використані результати досліджень, що наведені в статтях [4–6]. Набір даних включає оригінальне інфрачервоне зображення та три поляризаційні зображення, коли кут між віссю поляризатора і фазової пластики становить *0°, 45°, 135°*.

Розраховані за алгоритмом параметри Стокса (*I,Q,U*) та ступеня поляризації *P* і кут поляризації *A*, зображені на рис. 1. Перешкоди фону на зображенні P та зображенні A дуже сильні, однак A більш чутливе до джерела шуму.

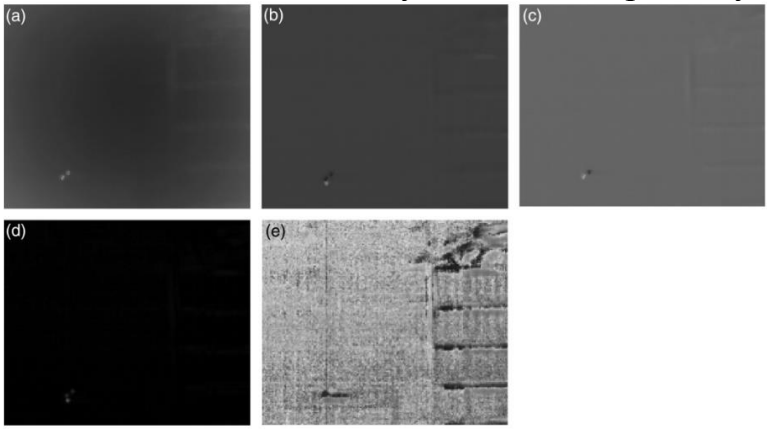


Рисунок 1. Зображення параметрів вектору Стокса (a) I, (b) Q, (c) U, (d) і ступеня поляризації P (e) A.

Результати виявлення малої цілі наведені на рис. 2. Перешкоди в фоновому режимі в основному придушений, що дозволяє легко виявити малу ціль.

Для кожного вказаного зображення, для оцінки ефективності алгоритму виявлення, використовуються два параметри - контрастність C між ціллю та фоном та місцеве відношення сигнал/шум (SNR):

$$C = \left| \frac{\mu_T - \mu_B}{\mu_T + \mu_B} \right|; \quad (4)$$

$$SNR = \left| \frac{\mu_T - \mu_B}{\sigma_B} \right| SNR = \left| \frac{\mu_T - \mu_B}{\sigma_B} \right|. \quad (5)$$

Рисунок 2. Зображення результатів виявлення (a) змінною поляризацією $I^{\bar{A}-\pi/2}$, (b) після обробки з використанням алгоритму $I_{TP}^{\bar{A}-\pi/2}$ та (c) після порогової сегментації.

Контраст *C* між ціллю та фоном та локальний *SNR* кожного параметра обчислений і занесений до табл. 1. Контраст *C* відображає ступінь виділення цільового сигналу на фоні, а *SNR* відображає стан придушення шуму.

Таблиця 1. Значення *C* та *SNR* кожного зображення параметра

Параметр	***C***	***SNR***	***Параметр***	***C***	***SNR***
Оригінальна інтенсивність	0,0904	0,6663	U	5,857×10-4	0,8945
I0°	0,0801	0,6852	P	ціль не виявлена	ціль не виявлена
I45°	0,0831	0,6220	A	ціль не виявлена	ціль не виявлена
I135°	0,0829	0,6983	$I^{\bar{A}-\pi/2}$	0,5320	0,9625
I	0,0827	0,8113	$I_{TP}^{\bar{A}-\pi/2}$	1	0,9813
Q	6,3469×10-4	0,8607			

Для подальшого вимірювання ефективності методу виявлення, алгоритм порівнюють із трьома існуючими методами:

1) Виявлення штучних цілей з використанням інфрачервоної поляризації [2];
2) Некооперативне виявлення малих цілей, що використовує статистичні методи для експлуатації інфрачервоної сигнатури вектору Стокса [4];
3) Автоматичне виявлення дрібних предметів за їхніми інфрачервоними векторами поляризації [5].

Результати кожного методу показано на рис. 3. Для аналізу та порівняння використовуються значення *C* та *SNR*, а результати розрахунку занесені до табл. 2. Час введення зображення та попередньої обробки не враховується, обчислюється лише час роботи алгоритму виявлення.

Таблиця 2 Порівняння продуктивності чотирьох методів

	Запропонований метод	***Метод 1***	***Метод 2***	***Метод 3***
C	1	0,3650	ціль не виявлена	ціль не виявлена
SNR	0,9813	0,9355	ціль не виявлена	ціль не виявлена
t, c	0,263559	0,35829	4,223324	4,607037

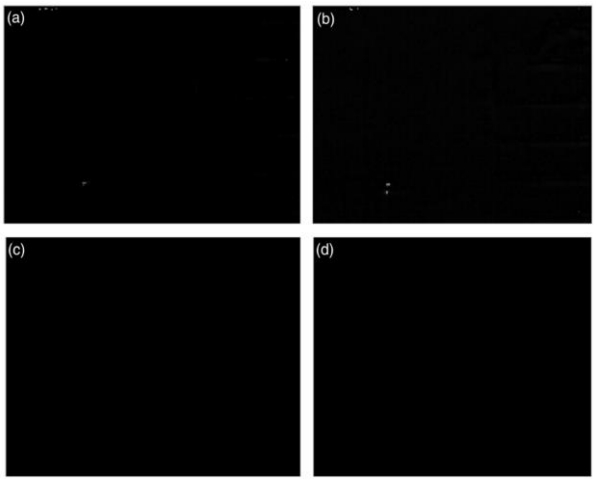


Рисунок 3. Порівняння результатів обробки даних чотирьох методів: (a) запропонований метод (b) метод 1 (c) метод 2 (d) метод 3

ВИСНОВКИ

В рамках цього дослідження був розроблений і налагоджений алгоритм, який допоможе значно краще виявити мало контрастну теплову ціль та буде спрацьовувати набагато швидше.

Згідно з результатами досліджень, ступінь поляризації штучної цілі більша, ніж ступінь поляризації природного фону. Розподіл ступеня поляризації є більш концентрованим, ніж фону, а кут поляризації цілі значно відрізняється від поляризації фону. Тому теоретична основа експериментів є надійною.

Порівняння з трьома існуючими методами виявлення також відображало ефективність, надійність та простоту запропонованого методу. Результати запропонованого алгоритму в табл. 2 значно вищі, ніж у інших методів, а час роботи порівняно менший, що вказує на те, що запропонований метод кращий за інші використані методи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Y. Zhang, Z. Shi and T. Qiu, “Infrared small target detection method based on decomposition of polarization information,” J. Electron. Imaging, 26 (3), 033004 (2017).

[2] R. D. Tooley, “Man-made target detection using infrared polarization,” Proc. SPIE 1166, 52 (1990).

[3] І.В. Карпенко, В.Г. Колобродов, Сокол Б.Ю. Поляризаційний метод виявлення тепло контрастної цілі на фоні завад ВІСНИК ХНУ, серія: Технічні науки. – 2018. – №1. – С. 33–37.

[4] F. A. Sadjadi and C. S. L. Chun, “New experiments in the use of infrared polarization in the detection of small targets,” Proc. SPIE 4379, 144 (2001).

[5] F. A. Sadjadi and C. S. L. Chun, “Automatic detection of small objects from their infrared state-of-polarization vectors,” Opt. Lett. 28, 531–533 (2003).

[6] G. Cheng et al., “Infrared dim small target detection based on morphological bandpass filtering and scale space theory,” Acta Opt. Sin. 32(10), 1015001 (2012).

Наук. керівник – д.т.н., професор Колобродов В.Г.

УДК 681.772

В.А. Тесленко, студент групи ПО-71, д.т.н., професор В.М. Боровицький
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРИНЦИП РОБОТИ ПОДІЄ-БАЗОВОЇ КАМЕРИ В ПОРІВНЯННІ З ЗВИЧАЙНИМИ КАМЕРАМИ

Анотація. Подіє-базована камера - це датчики з біологічним натхненням, які відрізняються від звичайних кадрових камер: замість того, щоб фіксувати зображення з фіксованою швидкістю, вони асинхронно вимірюють зміни яскравості на піксель і виводять потік подій, які кодують час, місце розташування та знак змінюється яскравість. Камери подій мають привабливі властивості порівняно з традиційними камерами: висока тимчасова роздільна здатність (порядку мкс), дуже високий динамічний діапазон (140 дБ проти 60 дБ), низьке споживання енергії та висока пропускна здатність пікселів (порядку кГц) у зменшеному розмитті руху. Отже, камери подій мають великий потенціал для робототехніки та комп'ютерного зору в складних сценаріях для традиційних камер, таких як низька затримка, висока швидкість та високий динамічний діапазон.

Ключові слова: Event-based camera, DVS, DAVIS, SLAM, HDR, SAE, обробка зображень.

ВСТУП

На даний момент робототехніка, автомобілебудування росте швидкими темпами. Комп’ютеризація багатьох процесів призведе до повної відсутності людей у цих процесах та нівелює людський фактор.

Актуальною і цікавою темою цього дослідження є аналіз подієво-базованих камер, які дають інше бачення реєстрації візуальної інформації асинхронними датчиками, що приносить і свої переваги у відстеженні деяких процесів.

ЗАСТОСУВАННЯ ПОДІЄ-БАЗОВАНИХ КАМЕР

Типові сценарії, коли подіє-базовані камери переважають перед іншими способами зондування, включають системи взаємодії в режимі реального часу, такі як робототехніка або носна електроніка, де важлива робота в умовах неконтрольованого освітлення, затримки та потужності. Подіє-базовані камери використовуються для відстеження об’єктів, спостереження та моніторингу та розпізнавання об’єктів / жестів. Вони також вигідні для оцінки глибини, структурованого світлового 3D-сканування, оцінки оптичного потоку, реконструкції HDR-зображень та одночасної локалізації та картографування (SLAM). Бачення подій базується на зростаючій галузі досліджень, і інші програми, такі як розмивання зображень або відстеження зірок, з’являться, коли подіє-базовані камери стануть широко доступними.

ПРИНЦИП РОБОТИ КАМЕРИ

На відміну від стандартних камер, які отримують повне зображення зі швидкістю, визначеною зовнішнім годинником (наприклад, 30 кадрів в секунду), подіє-базовані камери, такі як Динамічний Датчик Зору (ДДЗ) чи Dynamic Vision Sensor (DVS), реагують на зміни яскравості сцени асинхронно та незалежно для кожного пікселя.

Таким чином, вихід подіє-базованої камери є змінною послідовністю швидкості передачі даних цифрових "подій" або "спайків", причому кожна подія представляє зміну яскравості (логарифм інтенсивності) заздалегідь визначеної величини в пікселі в певний час.

Кожен піксель запам'ятовує логарифм інтенсивності кожного разу, коли

надсилає подію, і постійно контролює зміну достатньої величини від цього запам'ятовуваного значення (рис. 1). Коли зміна перевищує порогове значення, камера надсилає подію, яка передається від мікросхеми з розташуванням x, y, часом t та однобітною полярністю (тобто збільшенням яскравості (“ON”) або зменшити (“OFF”)).

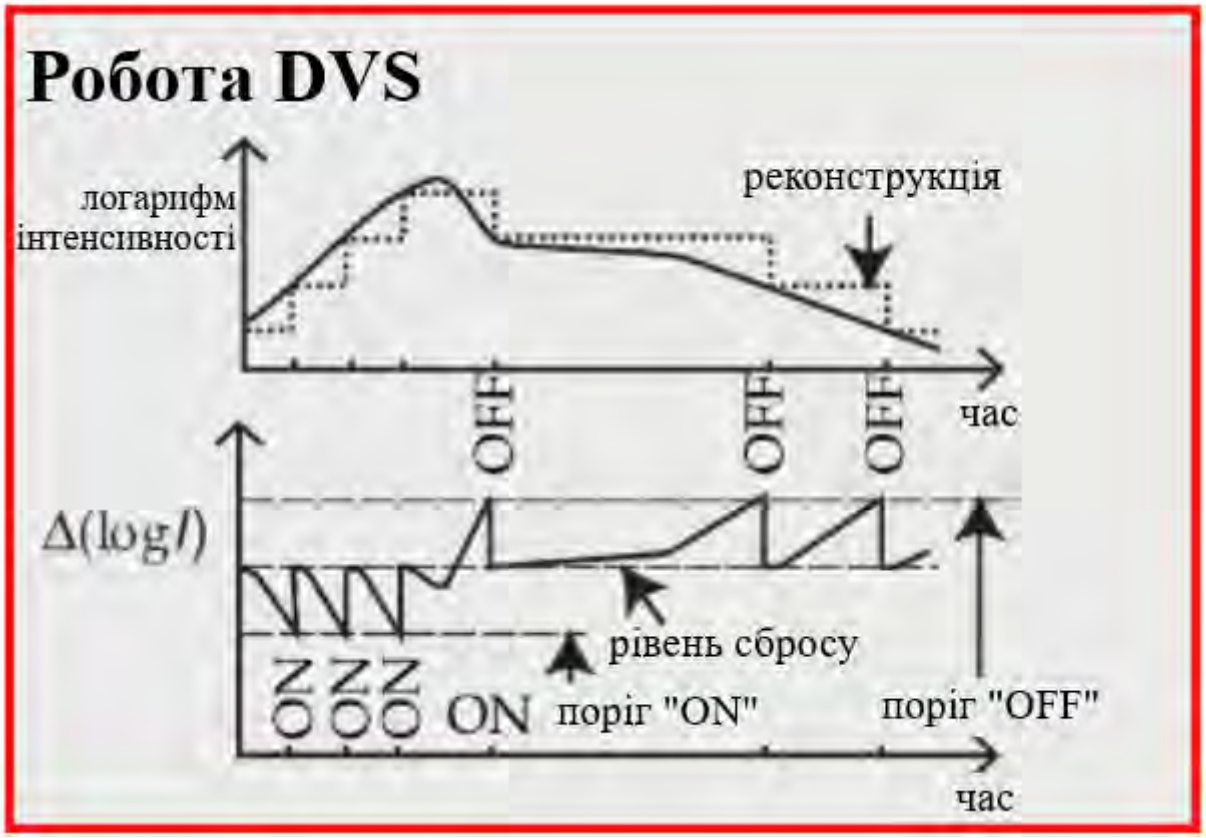


Рисунок 1. Демонстрація роботи пікселя DVS по конвертації сигналів у події

Події передаються від масиву пікселів на периферію, а потім виходять з камери за допомогою спільної цифрової вихідної шини, як правило, за допомогою address-event representation (AER). Ця шина може стати насиченою, що порушує час надсилання подій. Подіє-базовані камери мають швидкість зчитування від 2 МГц до 1200 МГц, залежно від мікросхеми та типу апаратного інтерфейсу.

Подіє-базовані камери - це датчики, керовані даними: їх вихід залежить від кількості руху зображення або зміни яскравості сцени. Чим швидший рух, тим більше подій в секунду генерується, оскільки кожен піксель адаптує частоту дискретизації дельта-модулятора до швидкості зміни сигналу логарифмічної інтенсивності, який він відстежує. Події відмічаються часом з мікросекундною роздільною здатністю і передаються із затримкою до мілісекунд, що змушує ці датчики швидко реагувати на зорові подразники.

ЧИСЛЕННІ ПОТЕНЦІЙНІ ПЕРЕВАГИ ПОДІЄ-БАЗОВАНИХ КАМЕР ПЕРЕД СТАНДАРТНИМИ КАМЕРАМИ

Висока часова роздільна здатність: моніторинг змін яскравості відбувається швидко, в аналоговій схемі, а зчитування подій відбувається цифровим шляхом, з тактовою частотою 1 МГц, тобто з періодом в одну

мікросекунду. Тому подіє-базовані камери можуть фіксувати дуже швидкі рухи, не страждаючи від розмиття руху, характерного для звичайних камер.

Низька затримка: кожен піксель працює незалежно, і немає необхідності чекати загального часу експозиції кадру: як тільки виявлена зміна, вона передається. Отже, подіє-базовані камери мають мінімальну затримку: близько 10 мкс на лабораторному стенді та суб-мілісекунди в реальному світі.

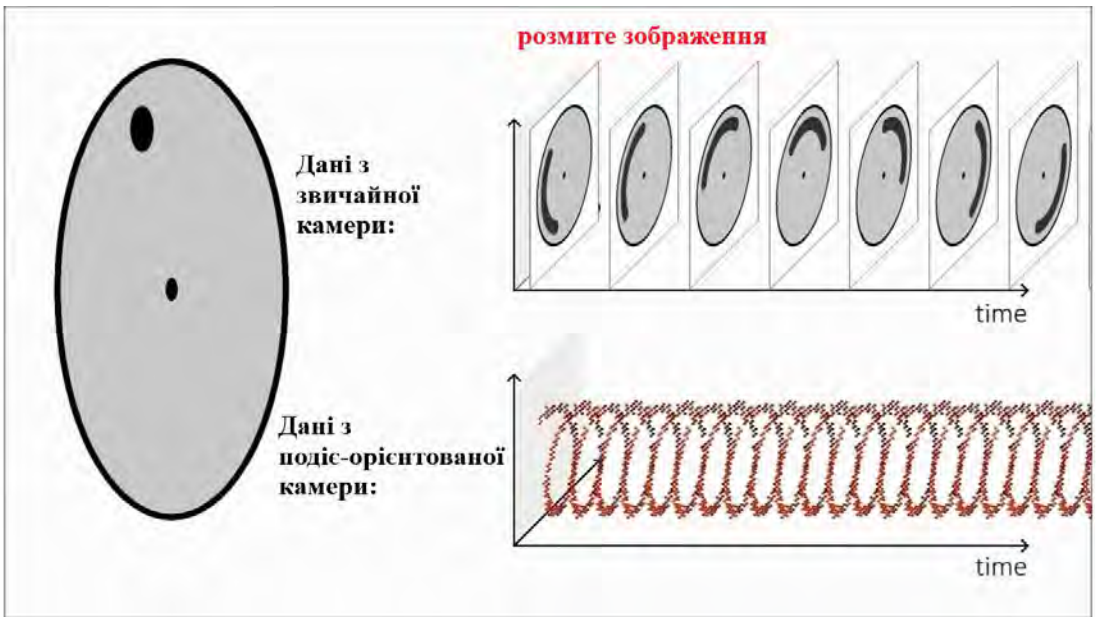


Рисунок 2. Порівняння вихідних данних з звичайної камери та подіє-базової камери

Низькі енерговитрати: Оскільки подіє-базовані камери передають лише зміни яскравості і, таким чином, видаляють зайві дані, енергія використовується лише для обробки змінних пікселів. На рівні штампа більшість камер використовують близько 10 мВт, а деякі прототипи досягають менше 10 мкВт. Вбудовані системи подіє-базовані камери, де датчик безпосередньо з'єднаний з процесором, демонструють споживання енергії на рівні системи (тобто зондування плюс обробка) 100 мВт або менше.

Високий динамічний діапазон (HDR). Дуже високий динамічний діапазон подіє-базової камери (> 120 дБ) значно перевищує 60 дБ високоякісних камер на основі кадру, завдяки чому вони можуть отримувати інформацію від місячного світла до денного. Це тому, що фоторецептори пікселів працюють у логарифмічному масштабі, і кожен піксель працює незалежно, не чекаючи загального затвора. Як і біологічні сітківки, пікселі DVS можуть адаптуватися до дуже темних, а також дуже яскравих подразників.

ВИСНОВКИ

Система подіє-базованої камери може використовуватися у багатьох напрямках через свої переваги, такі як висока швидкість розгортки, та високий динамічний діапазон. Швидка розгортка може допомогти у системах, які керуються нейронними мережами, та може прискорити швидкість цих нейронних мереж за допомогою малої кількості данних, які виходять з камери. Високий динамічний діапазон дає змогу розробки алгоритмів для відтворення

інформації заглибленої звичайною камерою у дуже темних чи засвічених місцях зображення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Brandli, C., Berner, R., Yang, M., Liu, S.-C., Delbruck, T., A 240x180 130 dB 3 μs Latency Global Shutter Spatiotemporal Vision Sensor, IEEE J. Solid-State Circuits, 49(10):2333-2341, 2014.

[2] Gallego, G., Delbruck, T., Orchard, G., Bartolozzi, C., Taba, B., Censi, A., Leutenegger, S., Davison, A., Conradt, J., Daniilidis, K., Scaramuzza, D., Event-based Vision: A Survey, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. (TPAMI), 2020.

[3] Moeys, D. P., Corradi, F., Li, C., Bamford, S. A., Longinotti, L., Voigt, F. F., Berry, S., Taverni, G., Helmchen, F., Delbruck, T., A Sensitive Dynamic and Active Pixel Vision Sensor for Color or Neural Imaging Applications, IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst. 12(1):123-136 2018.

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

Секція 3.
Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів

УДК 681.518.5

О.Л. Балякіна, студентка гр. ПБ-71, К.А. Романенко, студент гр. ПБ-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ РІЗЦЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІБРОПЕРЕТВОРЮВАЧА ПІД ЧАС ОБРОБКИ ДЕТАЛІ

Анотація. Під час обробки деталі на станках з ЧПУ виникають вібрації, які збільшують знос інструменту, погіршують якість обробленої поверхні і прискорюють знос верстатів. Аналіз вібрацій за допомогою віброперетворювача дозволив виявити вплив коливань на процес механічної обробки, встановити закономірності їх виникнення при різних режимах різання. Показано, що під час вібраційного контролю зносу різця під час обробки деталі доцільно використовувати п'єзоелектричний віброперетворювач.

Ключові слова : верстат, різець, вібраційний перетворювач, вібрації, контроль, механічна обробка.

ВСТУП

На сьогоднішній день контроль зносу різця під час обробки деталі є дуже важливою складовою будь-яких гнучких систем виробництва деталей. Від стану різального інструмента залежить якість деталі та ефективність процесу обробки.

Основні методи контролю стану різального інструмента є радіоактивний, оптичний, пневматичний, електромеханічний, магнітний, тепловий, акустичний, тензометричний.

Одним із самих перспективних методів є віброакустичний метод с використанням датчику вібрацій. Для його реалізації використовується віброакустичний перетворювач, що підключений до системи обробки сигналу.

ВИБІР ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ КОНТРОЛЬ СТАНУ РІЗЦЯ

Основною задачею перетворювача є перетворювання механічних коливання різного обладнання в електричні.[1] На даний час, при вібродіагностиці найбільшого поширення набули ємнісні, індукційні та п'єзоелектричні датчики.

Принцип дії ємнісного перетворювача заснований на залежності електричної ємності конденсатора від розмірів, взаємного розташування його пластин і від діелектричної проникності між ними. Ємнісні датчики мають цілу низку переваг у порівнянні з іншими, а саме: простота виготовлення, використання недорогих матеріалів для виробництва, малі габарити і вага, мале споживання енергії, довгий термін експлуатації, мала інерційність. До недоліків можна віднести: малий коефіцієнт передачі, висока вимогливість до екранування, можливість пробою конденсаторів високою напругою, необхідність працювати на підвищених частотах. Для виміру вібрацій ємнісним віброперетворювачем його потрібно розмістити на деякій відстані від обладнання, щоб між ними утворився повітряний конденсатор.

Індукційний тип перетворювача реагує на вібраційні явища та визначає їх параметри за допомогою ЕРС. Принцип дії індукційних перетворювачів заснований на явищі електромагнітної індукції, тобто на виникненні електрорушійної сили в електричній котушці при зміні магнітного поля[2]. Даний тип перетворювача має високу ступінь надійності та простоту конструкції. Однак, недоліком даного датчику є значна маса та габарити.

Серед досліджень, пов'язаних зі створенням апаратури неруйнівного контролю, особливе місце займають пошуки методів збудження і реєстрації

ультразвуку в твердих тілах [4,5]. Успіхи в зазначеному напрямку досягнуто за рахунок застосування п’єзоелектричного способу збудження і прийому ультразвукових коливань. П’єзоелектричний тип перетворювача представляє собою п’єзоелемент, що встановлений між інерційним тілом і корпусом датчика та закріплений за допомогою кілець у корпусі. Під впливом знакозмінного віброударного прискорення п'єзоелемент відчуває деформацію зсуву, і на його циліндричних поверхнях утворюється електричний заряд, величина якого пропорційна величині прискорення.[3] Даний метод може бути застосований під різання складових багатошарових конструкцій [6,7]. Вібраційні п’єзодатчики застосовуються для вимірювання високочастотних віброприскорень. Даний датчик є найбільше доцільним для використання у системі контролю стану різця так, як він дозволяє виміряти високочастотні коливання, що дасть велику достовірність результатів.

У якості альтернативи п’єзоелектричному перетворювачу, може бути застосований електромагнітно-акустичний перетворювач [4,5], що набув широкого поширення перевагою якого є безконтактного збудження та прийом механічних коливань. Використання запропонованого перетворювача дозволить підвищити ефективність і точність контролю вимірювань об'єктів циліндричної форми, і спростити проведення автоматичного і автоматизованого контролю.

ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ РІЗЦЯ ЗА ДОПОМОГОЮ П’ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ВІБРОПЕРЕТВОРЮВАЧА

В основі технології контролю вимірювання стану різального інструмента з використання п’єзоелектричного віброперетворювача віброакустичним методом лежить віброакустине перетворювання з подальшою обробкою та аналізом сигналу.

Перед початком контролю на державку різця встановлюється віброакустичний перетворювач, схема розташування перетворювача на різці наведена на рис. 1.

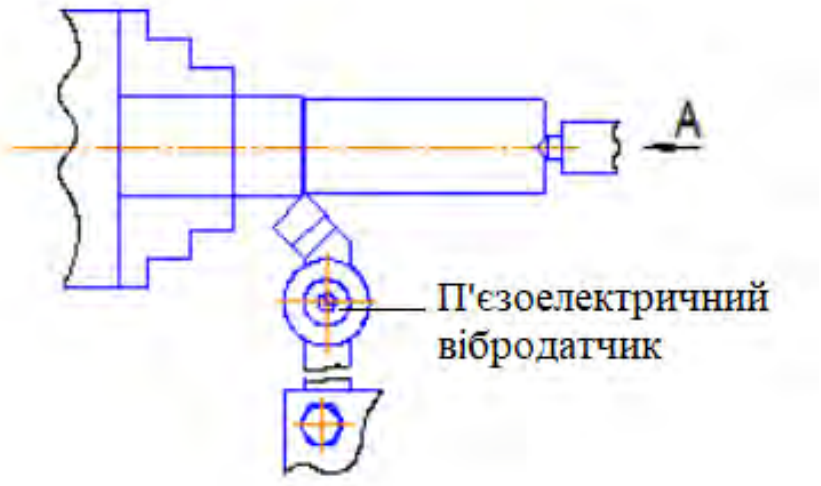


Рисунок 1. Схема встановлення п’єзоелектричного віброперетворювача

Далі, встановлюємо потрібну глибину різання t, подачу S та частоту обертання шпинделя n. При точінні під дією сил різання на різці виникають вібрації-механічні коливання. Віброперетворювач перетворює механічні коливання в електричні сигнали, які за допомогою АЦП оцифровуються та оброблюються на ЕОМ за розробленим алгоритмом обробки сигналу, що наведений на рис.2.

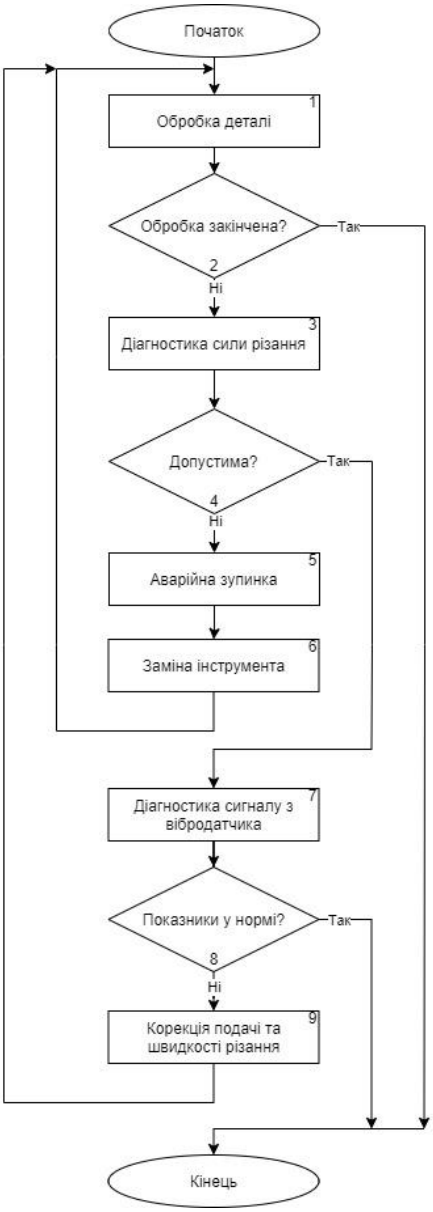


Рисунок 2. Алгоритм обробки сигналу

У блоці 1 відбувається процес обробки деталі. Далі, у блоці 2 перевіряється закінчилась обробка, чи ні. У випадку, коли обробка була закінчена, то опрацювання сигналу припиняється, якщо ні, то у блоці 3 діагностується сила різання. Блок 4 перевіряє чи допустима сила різання, якщо так система переходить до блоку 7, де діагностується сигнал з віброперетворювача. У випадку, коли сила різання не допустима, то система робить аварійну зупинку та замінює інструмент. Після діагностики сигналу з віброперетворювача блок 8 перевіряє чи допустимі показники. Якщо показники не у нормі, то система корегує подачу і швидкість різання та переходить до блоку 1, інакше опрацювання сигналу закінчується.

ВИСНОВКИ

Показано, що під час вібраційного контролю зносу різця під час обробки деталі доцільно використовувати п’єзоелектричний віброперетворювач.

Розроблено алгоритм обробки сигналів для системи вібродіагностичного контролю стану різця під час обробки деталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/ В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др; Под ред. В. В. Клюева М. 3-е изд. испрт. и доп. : Машиностроение, 2005.- 656 с.

[2] Диагностика процесса металлообработки / В.А. Остафьев, В.С. Антонюк, Г.С. Тымчик. –К.: Техника, 1991. – 152 с.

[3] Патент на изобретение 2289821 Российская Федерация, МПК (2006) G01P 15/09. Пьезоэлектрический датчик / Воронов А.М., Степанов В.А. - №2003127372; заявл. 09.09.2003; опубл. 20.12.2006, бюл. №35.

[4] Подолян, О. О. Контроль якості монтажу муфт на магістральний трубопровід [Електронний ресурс]: монографія / О. О. Подолян, Г. С. Тимчик ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 10 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2020. – 180 с.

[5] Gregory S Tymchik, Aleksandr A Podolian, Kateryna S Serhiienko, Theoretical investigations of the generation of an ultrasonic wave by an electromagnetic acoustic transducer, KPI Science News, 2018, Vol.3, pp.84-92, https://doi.org/10.20535/1810-0546.2018.3.127129

[6] G. S. Tymchik, O. O. Podolian, K. S. Serhiienko. Testing technology of the undercoupling space filling of coupling on the main pipeline // "Mehatronics" Vol. II, London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, 2020 – 7 pages

[7] Tymchik, G.S. et al., (2018). Quality control system of well-bonded coupling fitting onto high pressure gas-main pipelines. / G. S. Tymchyk *et al*.// In: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 108085A. DOI: 10.1117/12.2501594.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Подолян О.О

УДК 681.2

К.О. Бевз, студентка гр. ПБ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДОМАШНІХ ТВАРИН

Анотація. В роботі розглянуто засоби реалізації автоматизованого пристрою контролю та ідентифікації домашніх тварин базуються на використанні пасивного інфрачервоного датчика HC-SR501, камери ov2640, лінзи Френзеля, сервера та піроелектричного датчика. Для реєстрації теплової енергії домашніх тварин визначено як їх ідентифікувати та зіставляти положення тварин з зоною дії пірометра.

Ключові слова: інфрачервоне випромінювання, пасивний інфрачервоний датчик, лінза Френзеля, температура тварин.

ВСТУП

Останнім часом посилилась тенденція на утримання домашніх тварин де вони стають повноцінними членами родини. Проте на стан їх здоров'я власники звертають увагу в останню чергу, зазвичай тоді коли стає очевидним наявність певної проблеми і виникає необхідність звернутися до ветеринара.

Один з важливих показників здорової тварини це – допустима температура тіла. Однак існує досить мало можливостей для домашнього профілактичного контролю стану здоров'я домашніх тварин і більшість з них потребують безпосередньої наявності власника тварини.

Пасивні інфрачервоні датчики як детектори руху частіше використовують для контролю рухів лише людей, при цьому виключається з підрахунку переміщення домашніх тварин [1].

Відомо розробки, коли інформація про пересування різних біологічних істот, яка попадає поле зору лінзи Френзеля, завантажуються на сервер і через систему зв'язку LoRaWAN визначають їх кількість [2].

Однією з важливих задач у побудові автоматизованих пристроїв для контролю та ідентифікації домашніх тварин є необхідність аналізу присутності тварини поблизу зони дії термометра, та необхідність розпізнавання вибраного об'єкта для виміру серед інших.

Метою роботи є розробка спеціалізованого стаціонарного автоматизованого пристрою для контролю за температурою домашніх тварин.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Однією із задач автоматизованого вимірювання температури тварин є визначення їх наявності в зоні дії пірометра. Цю задачу можна розглядати як три окремі підзадачі.

Перша заключається у виявленні рухомого об'єкта, друга у його ідентифікації, а третя відповідає за обрахунок положення рухомого тіла відносно зони дії "термометра".

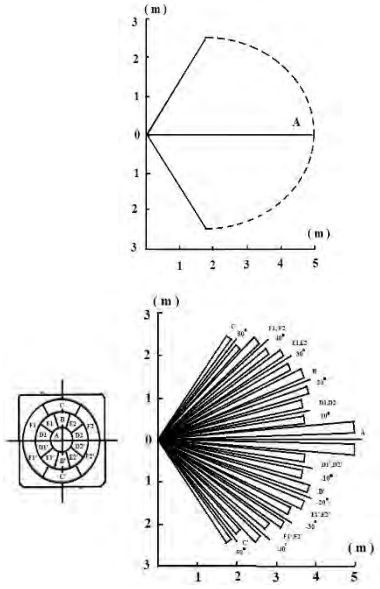
Для того, щоб зафіксувати тварину в зоні дії "термометра" доцільно використовувати ІЧ датчики для виявлення руху з достатнім показниками FOV (поля обслуговування) та IFOV (негайного поля обслуговування).

Проте одного такого датчика недостатньо для того, щоб не просто зафіксувати факт руху певного об'єкта а й безпосередньо ідентифікувати

джерело руху, обрахувати необхідні нам приблизні лінійні розміри.

Для того, щоб покращити поле обслуговування зони дії "термометра" пропонується використовувати спеціальні лінзи Френзеля, які збільшують кількість чутливих зон [3].

На рисунку 1 показано схематичне зображення поля обслуговування FOV датчика (а) та FOV датчика в парі з лінзою Френеля (б).



а) *б*)

Рисунок 1. FOV датчика руху [3]: схематичні зображення FOV датчика (*а*); та FOV в парі з лінзою Френеля (*б*)

Від якості лінзи Френеля залежить на яку кількість чутливих зон буде поділено FOV. Чим більша кількість зон, тим точнішими будуть отримані дані отримані ІЧ датчиками в парі з лінзами Френзеля, які утворюють датчик руху (PIR).

Для обслуговування датчика руху використано типову систему захисту PIR-датчиків від перешкод в оберненому ключі. Для цього використовують два PIR-датчики для контролю верхнього та нижнього рівнів, які враховують вплив переміщення людей. Якщо об'єкт знаходиться в поля обслуговування FOV обох датчиків, то це є перешкодою, а при знаходженні об'єкта лише в нижньому – відбувається його реєстрація [4].

Запропонована система має недоліки ідентифікації тварин, наприклад коли людина буде знаходитися в полі обслуговування FOV лише нижнього датчику реєстрація відбувається.

Для усунення цього недоліку при ідентифікації тварин запропоновано посилання сигналу на портативну камеру, як тільки об'єкт потрапляє в поля обслуговування FOV лише нижнього PIR датчика.

Для цього використано камеру ov2640 та датчик HC-SR501 таким чином, щоб їх поля обслуговування FOV максимально збігалися. Після отримання сигналу камера робить знімок і відправляє його на сервер.

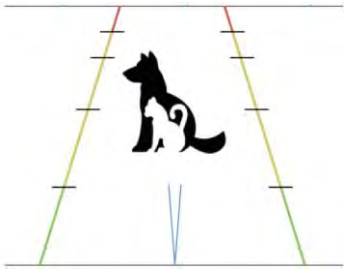


Рисунок 2. Схема відкаліброваної сітки камери.

На сервері відбувається ідентифікація тварини за допомогою нейронної мережі. Процес ідентифікації в ключі кіт, собака тощо займає мізерну кількість ресурсів та часу, тому майже миттєво ми отримуємо необхідну інформацію про тип об'єкту (тварина чи ні).

Наступний етап – співставлення поля обслуговування FOV термометра та об'єкта і калібрування камери автоматично або вручну (рис.2).

Калібрування в автоматичному режимі можливо при закріплені ov2640 в пристрої на відомій висоті. Ручне калібрування можливе при розташуванні еталонного предмету з комплекту на зазначеній відстані від закріпленого датчика.

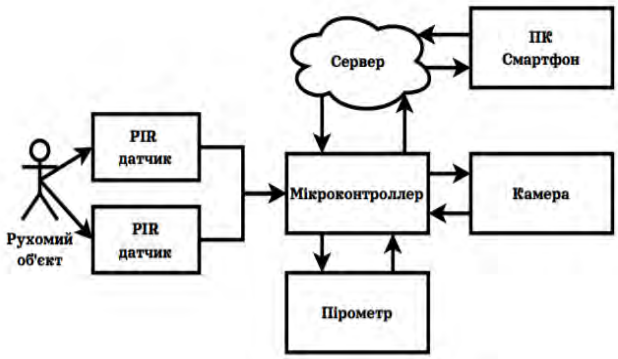


Рисунок 3. Схема автоматизованого пристрою для контролю та їх ідентифікації домашніх тварин.

На рисунку 3 показана схема автоматизованого пристрою для контролю та ідентифікації домашніх тварин. Сигнали з датчиків-PIR надходять в мікроконтролер, де вони відповідно обробляються і якщо сигнали відповідають тригеру спрацьовування то сигнал поступає на камеру. Камера виконує знімок який надсилається на зовнішній сервер. За отриманою фотографією визначається відстань до тварини, її позиція відносно термометра і виконується ідентифікація (рис. 3).

У разі якщо тварина знаходитися в полі дії термометру подається команда на мікроконтролер про необхідність виміряти температуру. Мікроконтролер включає пірометр, отримані дані надсилаються на сервер для зберігання.

ВИСНОВОК

Розглянуто автоматизований пристрій контролю та ідентифікації домашніх тварин з використання PIR-датчиків як детекторів руху та покращення їх функціональності за рахунок використання лінз Френеля. Однозначна ідентифікація тварин базується на взаємодії вказаних PIR датчиків HC-SR501, камери та серверу з нейронною мережею для розпізнавання домашніх тварин та фіксування їх присутності у полі обслуговування "термометру".

Перспективою подальших досліджень є розроблення апаратного та програмного забезпечення для створення автоматизованого пристрою контролю за температурою домашніх тварин та серверу з нейронною мережею.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] IoT Enabled Intelligent Sensor Node for Smart City: Pedestrian Counting and Ambient Monitoring / Fowzia Akhter, Sam Khadivizand, Hasin Reza Siddiquei, Md Eshrat E. Alahi and Subhas Mukhopadhyay // MDPI Sensors (Basel). — 2019. — T.19(15), № 3374. — doi:10.3390/s19153374.

[2] Spatio-Temporal Constrained Human Trajectory Generation from the PIR Motion Detector Sensor Network Data: A Geometric Algebra Approach / Zhaoyuan Yu, Linwang Yuan, Wen Luo, Linyao Feng, Guonian Lv // MDPI Sensors. — 2016. — T.16(1), № 43. — doi:10.3390/s16010043.

[3] SPECIFICATION OF Fresnel Lens Part No: NL-11NH [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.ladyada.net/media/sensors/NL11NH.pdf

[4] Why motion detectors react to animals and how to avoid it [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ajax.systems/blog/what-is-pet-immunity-in-motion-detectors-and-how-to-use-it-correctly/

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

УДК 629.36

В.А. Гайдай, студент гр. ПБ-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ З ГУСЕНИЧНИМ РУШІЄМ ДЛЯ 3Д ПРИНТЕРУ

Анотація: В роботі розглянуто завдання правильного вибору елементної бази для переміщення робототехніки. Наведено особливості будови, переваги та недоліки використання елементної бази спроектованої на звичайних колесах, гусеничному рушії та шведських колесах. В підсумку прийнято рішення щодо використання елементарної бази на гусеничному рушії для будівельного 3Д принтеру.

Ключові слова: 3Д принтер, елементарна база, маніпулятор, колесо, серводвигун, гусеничний рушій, гусеничне полотно, шведське колесо.

ВСТУП

Перші 3D-принтери здавалися дивом, а зараз їх широко використовують: в медицині, в промисловості, в будівництві. Зазвичай 3Д принтер ми уявляємо як пристрій з портальною конструкцією. Класичні принтери призначені для друку порівняно невеликих за габаритами деталей та використовують в якості матеріалу пластик і метал. Завдяки вдосконаленій технології 3D-друку і застосування особливої марки цементу з'явилася можливість створювати як дрібні об'єкти, так і великі. За допомогою принтера можна створити вазон для квітів, лавочку або будівельні блоки. Але так само легко можна надрукувати і повнорозмірну будівельну конструкцію. Адже принцип залишається тим же самим, різниця лише в масштабах.

Створювати для кожного нового виробу окрему портальну конструкцію великих розмірів, здійснювати її монтаж та демонтаж буде займати більше часу ніж сам процес друку. В таких випадках доцільним є використання роботів-маніпуляторів, які працюють в двох режимах стаціонарному та динамічному. При стаціонарному режимі друк відбувається по частино, а принтер транспортується за допомогою будівельного крана в наступну зону друку. Динамічний режим передбачає розташування робота на платформі, що рухається залежно(по направляючим) або незалежно(в будь-яку сторону).

Правильний вибір елементної бази для рухомої платформи принтеру є важливим кроком при проектуванні повноцінного друкуючого роботу-маніпулятору як з технічної точки зору, так і з економічної.

ЕЛЕМЕНТНА БАЗА НА КОЛІСНОМУ ХОДУ

Ко́лесо — це деталь машини, механізму чи пристрою у вигляді кола зі спицями або диска, що обертається навколо своєї осі і забезпечує передачу та підтримку руху. Колесо вважається простим механізмом, коли воно встановлено на фіксовану або рухому вісь, яка проходить через його центр — для створення механічної передачі. Воно також є однією з основних деталей простого механізму - коловорота, призначеного для перетворення поступального руху в обертовий і навпаки. Сьогодні найчастіше колесо використовується у транспортних засобах: автомобілях, поїздах, велосипедах, самокатах, кінних возах, а також як шасі у літаках, вертольотах тощо[1].

Платформа на звичайних колесах є основою в робототехніці. Існує безліч

конфігурацій: триколісна, чотириколісна, повнопривідна, однопривідна, з усіма поворотними колесами тощо. Розглянемо базову поверхню з чотирма ведучими колесами (рис. 1). Вона складається з корпусу, чотирьох коліс, чотирьох серводвигунів з редукторами, муфт та електроніки. Поворот здійснюється за рахунок різної швидкості обертання коліс.

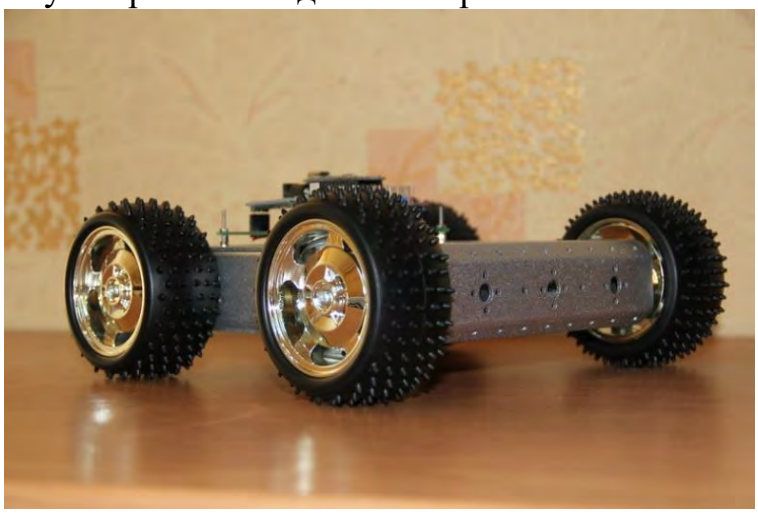


Рисунок 1. Приклад елементної бази на основі звичайних коліс

До переваг колісної бази слід віднести розповсюдженість компонентів. Наприклад, корпус можна використати уже готовий або роздрукувати на 3Д принтері, так само як колеса, або навіть використати уже готовий комплект. Також перевагою є менша сила тертя, що дозволяє легше розпочати рух із стану спокою в порівнянні із гусеничним типом.

Недоліком є мала площу контакту із поверхнею, оскільки збільшується тиск на поверхню.

ЕЛЕМЕНТНА БАЗА НА ГУСЕНИЧНОМУ РУШІЮ

Гусеничний рушій — рушій самохідних машин, в якому тягове зусилля створюється за рахунок перемотування гусеничних стрічок. Гусеничний рушій забезпечує підвищену прохідність. Велика площа дотику гусениць з ґрунтом дозволяє забезпечити низький середній тиск на ґрунт[2].

В машинобудуванні використовується схема розміщення опорних катків нижче ведучих, наприклад в танку, а в приладобудуванні зазвичай використовують схему із розміщенням ведучого колеса і опорних коліс на одному рівні (рис. 2). Дана платформа складається з корпусу, блоку електроніки, двох ведучих коліс, шести опорних коліс, два з яких відповідають за натяг гусениці, два серводвигуна з редукторами та двох гусеничних полотен, які можуть складатись із сегментів або виконані однією резиновою стрічкою. Поворот здійснюється за рахунок руху

Рисунок 2. Приклад елементної бази на основі гусеничного рушія

тільки одної гусениці, інша нерухома або рухається в іншу сторону для розвороту на місці.

Перевагою даної елементної бази є точність руху в порівнянні із колісною. Для будівельного 3Д друку точність руху кожної частини робота є важливою, оскільки впливає на точність результату друку. Гусеничний рушій має велику площу контакту з поверхнею, а тому і чинить менший тиск, що дозволяє його використовувати на слабких поверхнях.

Недоліком гусеничного рушія є мала розповсюдженість елементних компонентів, особливо якщо гусеничне полотно буде нестандартних розмірів, то його вартість виготовлення зростає. Також велика площа контакту викликає більший крутний момент, що вимагає потужного приводу, щоб плавно розпочати рух із стану спокою.

ЕЛЕМЕНТНА БАЗА НА ШВЕДСЬКИХ КОЛЕСАХ

Ко́лесо І́лона або шве́дське ко́лесо (англ. Ilon's wheel, Swedish wheel, Mecanum wheel) — колесо з рівномірно розподіленими по ободу роликами, через які відбувається взаємодія колеса із поверхнею переміщення. Таке колесо дає змогу транспортному засобу шляхом незалежного приведення у рух своїх коліс забезпечити контрольоване переміщення у будь-якому напрямку. Конструкція виконана у вигляді колеса, на якому змонтовано декілька роликів, розподілених рівномірно по зовнішньому колу периметра колеса. Кут осі обертання роликів становить 45° до осі колеса. Ролики, що прикріплені по колу, є пасивними а для передавання енергії у рушій служить основна вісь. Таке колесо характеризується трьома ступенями свободи: обертання навколо колісної (моторизованої) осі; обертання роликів; обертання навколо точки контакту ролика з поверхнею[3].

Платформа на колесах Ілона (рис. 3) складається з основи, чотирьох коліс, чотирьох серводвигунів з редукторами та блоку електроніки. Дана платформа не повертається, оскільки вона може рухатись вперед, назад, вправо, вліво та навіть вздовж діагоналей. Це можливо шляхом зміни швидкості та напряму обертання кожного з коліс, які мають незалежний привід.

Рисунок 3. Приклад елементної бази на основі шведських коліс

До переваг слід віднести малу силу тертя при русі у різних напрямках, за рахунок розміщення роликів під кутом до основної осі колеса. Також при використанні шведських коліс зникає потреба у реалізації поворотного механізму.

Недоліками коліс Ілона є швидке зношування роликів, складність

конструкції, що затрачає додаткові ресурси та кошти при виготовленні. Нажаль при використанні шведських коліс платформа буде рухатись з відносно невеликими швидкостями.

ВИСНОВОК

Оскільки в будівельному 3Д принтері необхідно забезпечити високу точність руху, надійність конструкції в цілому, тому було обрано елементну базу з гусеничним рушієм як найбільш придатну.

Також за рахунок більшої площі контакту з поверхнею гусеничне полотно підвищило стійкість до перекидання принтеру та зменшило тиск на поверхню, що дозволяє використовувати 3Д принтер на міжповерхових перекриттях.

Можливо було б використати шведські колеса для прототипу принтеру, але готових коліс з необхідною вантажопідйомністю немає, тому виникла потреба в їх виготовлені, що значно збільшує часові та ресурсні затрати[4].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Колесо [Електронний ресурс]. Режим доступу: http:// uk.wikipedia.org/wiki/Колесо
[2] Гусеничний рушій [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/Гусеничний_рушій
[3] https://www.generationrobots.com/media/Mecanum-wheel-application.pdf
[4] Стельмах Н., Сапон С., Рижук Я. Вибір оптимального технологічного процесу на базі автоматизованої оцінки його техніко-економічних параметрів. Технічні науки та технології. 2020. No 1 (19). С. 89-97.DOI:10.25140/2411-5363-2020-1(19)-89-97.

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

УДК 621.391

А.А. Змієвський, студент гр. ПБ-01мп,
Є.Ю. Прищепенко, студент гр. ПБ-01мп, к.т.н., доц. В.В. Шевченко
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Анотація. У даній роботі розглядається система діагностики працездатності різального інструменту для автоматизованого виробництва приладів, яка основана на вимірюванні сигналів акустичної емісії та потужності різання. Система дозволяє контролювати інтенсивність зношування різального інструменту та прогнозувати його працездатність, що дає можливість підвищити точність обробки та ефективність виробництва приладів.

Ключові слова: діагностика, автоматизація виробництва приладів, зношення, працездатність різального інструменту, сигнали потужності та акустичної емісії.

ВСТУП

Обсяги виробництва схильні до зростання, а поява нової продукції призводить до пошуку нових технологій виробництва та вдосконалення вже відомих. Враховуючи такі умови, необхідно здійснювати ретельний моніторинг та контролювати процес виробництва на усіх етапах виготовлення сучасних приладів. Надзвичайно важливою складовою є діагностика працездатності різального інструменту безпосередньо в процесі обробки деталей приладів. В даний час існує декілька систем діагностики працездатності різального інструменту, заснованих на вимірі сигналів акустичної емісії, сили різання, змінної складової електрорушійної сили, електромагнітного випромінювання, які дозволяють діагностувати стан різального інструменту безпосередньо в процесі різання [1, 2].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розмір зношення, який поступово зростає, як по задній, так і по передній поверхні інструменту, призводить до руйнування різального інструменту. В результаті, знижується якість поверхні деталі, також знижується продуктивність та точність механічної обробки, у зв’язку з цим зростає відсоток браку, що приводить до великих економічних збитків при автоматизованому виробництві деталей приладів. [3].

В процесі механічної обробки є необхідним використання системи діагностики працездатності різального інструменту, це надає можливість найбільш вчасно проводити заміну різального інструменту, а також виключить можливість виходу з ладу ріжучого інструменту та втрати працездатності [4].

Будь-яка система діагностики зобов’язана бути адаптованою для використання в умовах автоматизованого виробництва без особливих конструктивних змін технологічного обладнання [5].

Метою даної роботи є розробка системи діагностики працездатності інструменту на основі вимірювання в процесі обробки сигналів потужності різання та акустичної емісії, що дасть можливість підвищити ефективність обробки деталей приладів в умовах автоматизованого виробництва.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Процес різання супроводжується різноманітними фізико-хімічними явищами, такими як механічні, електричні, теплові, адгезійні, дифузійні та ін., що виникають в результаті взаємодії заготовки та інструменту. Всі ці явища в своїх параметрах, кожен у своїй мірі, несуть відображену інформацію про процес різання, знаючи залежність яких від зносу, можна оцінити величину зносу різального інструменту, а також залишкову стійкість [6].

Загальна функціональна блок-схема системи діагностики працездатності різального інструменту представлена на рис. 1, а алгоритм функціонування системи діагностики різального інструменту представлений на рис. 2.

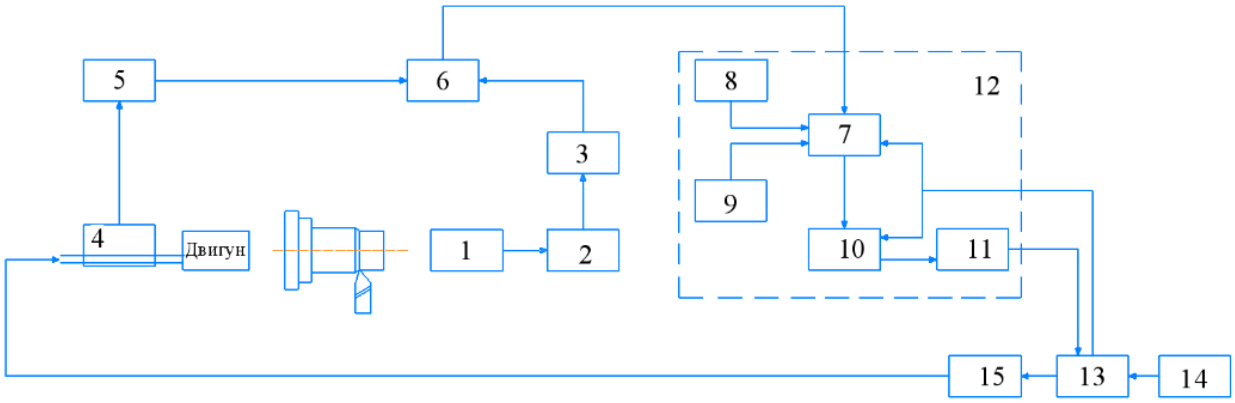


Рис. 1. Блок-схема системи діагностики працездатності інструменту

До складу системи діагностики працездатності різального інструменту входить датчик вимірювання сигналу акустичної емісії (див. рис. 1), де сигнал проходить через підсилювач 2 та фільтр низьких частот 3 до входу аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 6. Ще один сигнал діагностики проходить від датчика вимірювання потужності різання 4, за допомогою підсилювача 5, до входу АЦП. Подальша обробка і аналіз параметрів що вимірюється, проводиться за допомогою ЕОМ 12, у складі якої можна виокремити: блок оцінювання інтенсивності та розміру зношення 7, де виконується моніторинг аварійного стану на основі інформації про мінімальне і максимальне значення потужності різання. Якщо це значення виходить з допустимих меж, необхідні сигнали аварійної зупинки передаються на виконуючий механізм 15 (блок керування приводом подачі, блок керування двигуном, тощо). Крім того, у блоці 7 можна спостерігати значення та інтенсивність зношення різального інструменту. При оцінюванні зношення інструменту враховується режими роботи технологічного обладнання, які передаються від блоку ЧПК 13 до блоку 7, що за допомогою керуючої програми 14 керує процесом обробки. Після отримання результату зношення, його дані надсилаються на блок 10, де в свою чергу проводиться моделювання процесу обробки, за рахунок якого відтворюється обчислення залишкової стійкості інструменту, а також відбувається прогнозування зношення інструменту, на основі отриманих даних від ЧПК. У блоці 11 Керуючі та корекційні сигнали призначені для зміни режимів обробки які надходять на блок ЧПК формуються у блоці 11. Заміна різального інструменту або зупинка процесу обробки відбувається у тому разі, коли можливість корекції процесу

обробки відсутня. На основі керуючих сигналів від блоку 11, у блоці ЧПК вносяться зміни в команди управління, які надходять на виконуючі механізми 15.

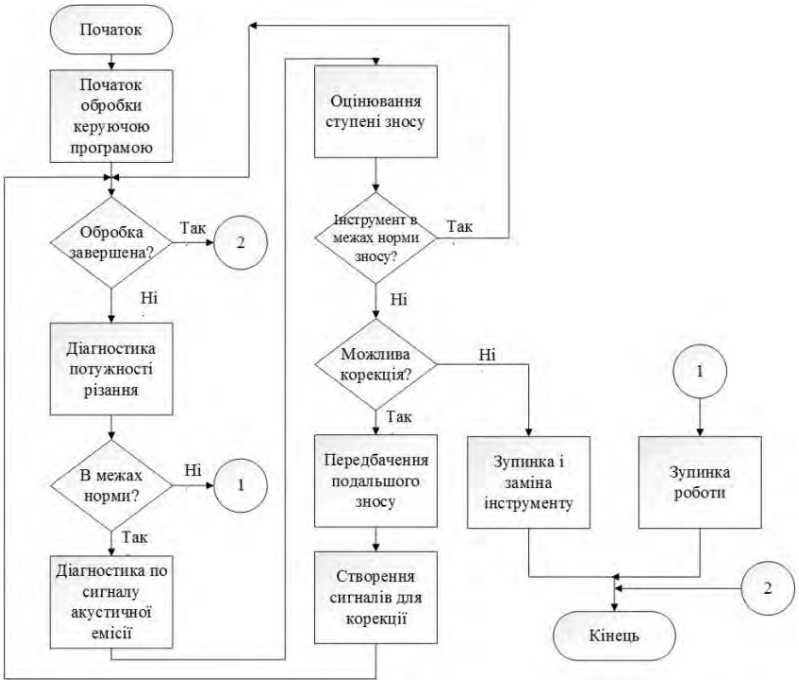


Рис. 2. Алгоритм функціонування системи діагностики працездатності інструменту

ВИСНОВКИ

Розроблена система діагностики працездатності різального інструменту, яка базується на вимірюванні сигналів акустичної емісії і потужності різання, що дає можливість проводити контроль зношення і відмови різального інструменту, підвищує надійність і точність процесу механічної обробки деталей приладів, дозволяє зменшити кількість бракованих деталей, що є вимогою до автоматизованого виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Остафьев В. А., Тымчик Г.С., Шевченко В.В. Адаптивная система управления. - Механизация и автоматизация управления. - Киев, №1, 1983. - 18–20 с.

[2] Скороход А. А., Шевченко В. В. Система диагностики работоспособности режущего инструмента в условиях автоматизированного производства. Современные научные исследования и инновации. 2014. № 4 [Электронный ресурс]. URL: http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33014.

[3] Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе // Машиностроение. – Москва, 1982. – 320 с.

[4] Григорьев С.Н. Диагностика автоматизированного производства. Москва: Машиностроение. – 2011. – 600 с.

[5] Подураев В.Н., Барзов А.А., Горелов В.А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. Москва: Машиностроение. – 1988. – 56с.

[6] Залога В.А., Зинченко Р.Н., Шаповал Ю.В. Современное состояние вопроса о диагностике состояния режущего инструмента при фрезеровании. Резание и инструмент в технологических системах. Харьков. – 2013. – №83, – 118 -126 с.

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

УДК 004.415.28

О.К. Крутько, студент гр. ПБ-з01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АРХІТЕКТУРА ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА

Анотація. В статі розглянуто архітектуру веб-орієнтованої автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва (АСТПВ). За основу системи запропоновано сервіс-орієнтовану архітектуру, яка використовує в якості модулів веб-сервіси та веб-програми, мультиагентні технології для реалізації функцій обміну інформацією між основними частками системи та використовують PMD-системи для керування технологічними проєктами. Запропонована архітектура - це корпоративна інформаційна система, яка дозволяє забезпечити сумісність функціонування підсистем на основі єдиного інформативного простору, розподілення колективної роботи над технологічними проєктами та ефективний контроль технологічної підготовки виробництва. Система, яка розробляється на основі запропонованої архітектури, надає можливість досить легко підключати підсистеми та налаштувати взаємодію між ними, проводити конфігурацію системи не залежно від виробництва, але у відповідності до прав доступу користувачів цього підприємства. Запропоноване рішення спрощує розроблення програмого та інформаційного забезпечення підсистем автоматизованої системи за рахунок їх централізованого знаходження в дата-центрі.

Ключові: технологічна підготовка, PDM-система, веб-сервіси, веб-орієнтована система, веб-орієнтована система технологічної підготовки виробницва.

ВСТУП

Одним з найважливіших етапів життєвого циклу, від рівня підготовки якого залежить якість готового виробу, термін виходу на ринок та конкурентна здатність підприємства в цілому, є технологічна підготовка виробництва (ТПВ) [1]. Одним з найважливіших напрямів вдосконалення ТПВ являється створення автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва (АСТПВ).

На даний момент в Україні з'являються підприємства у вигляді кооперації багатьох підприємств та організацій, які працюють під керуванням організатора цієї коопераційної павутини, що дозволяє зменшити вартість та прискорити випуск продукції. Під час таких кооперацій, підприємства використовують різні види автоматизованих систем для вирішення різних задач, але виникають проблеми взаємного функціонування систем, а саме :

- інформаційної інтеграції системи;
- колективної роботи над технологічними проєктами;
- супроводження програмного забезпечення АСТПВ;
- супроводження великого комплексу баз даних та знань;

Задля того, щоб перебороти ці складності необхідно використовувати сучасні інформаційні технології, які дозволяють забезпечити ефективне вирішення технологічних задач для всіх учасників кооперації та в той самий час задовольняти всі потреби розширеного підприємства.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦВА ЯК КОРПОРАТИВНА СИСТЕМА

Наразі, розвивається підхід до АСТПВ як до корпоративної інформаційної системи. Такий підхід важливий для розширеного підприємства, для якого характерний інтенсивний інформаційний обмін між окремими підрозділами [2]. Враховуючи це, в роботі пропонується використовувати концепцію серверних технологій для створення АСТПВ як веб-орієнтованої системи, в якій підсистеми

функціонують на основі віддалених кросс-браузерних програм з використанням баз даних та знань, що дозволить:

– забезпечити сумісність функціонування підсистем на основі єдиного інформаційного простору;

– спростити супроводження підсистем АСТПВ та баз даних в єдиному дата-центрі;

– розділити колективну роботу над технологічними проєктами;

– використовувати PDM-систему для керування технологічними проєктами та забезпечити ефективний контроль ТПВ.

З існуючих технологій великий інтерес являє собою мультиагенні технології. Їх використання дозволяє покращити рівень інтелектуальності АСТПВ, при цьому агенти які не залежать один від одного, мають можливість контактувати між собою та пропонувати технологу варіанти вирішення задач [2, 3].

АРХІТЕКТУРА ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА

За рекомендаціями АСТПВ поділяють по функціональному значенню на два типи: загального призначення та спеціального.

Запропонована система представляє собою підсистему загального призначення та складається з комплексу веб-сервісів, які реалізують функції взаємодії між компонентами (рис.1.). Невід'ємними компонентами підсистеми є також зовнішні програми та системи, які можна приєднати до існуючої системи, а саме: підсистему адміністрування, яка має розвинений інтерфейс для роботи користувача; словарну систему, що представляє собою онтологічний словник для взаємодії підсистем; систему документообігу, для керування проектом.

Також, для розширення функціональних можливостей веб-орієнтованої системи технологічної підготовки виробництва, передбачена можливість підключення сторонніх підсистем, що функціонують на підприємстві**.**

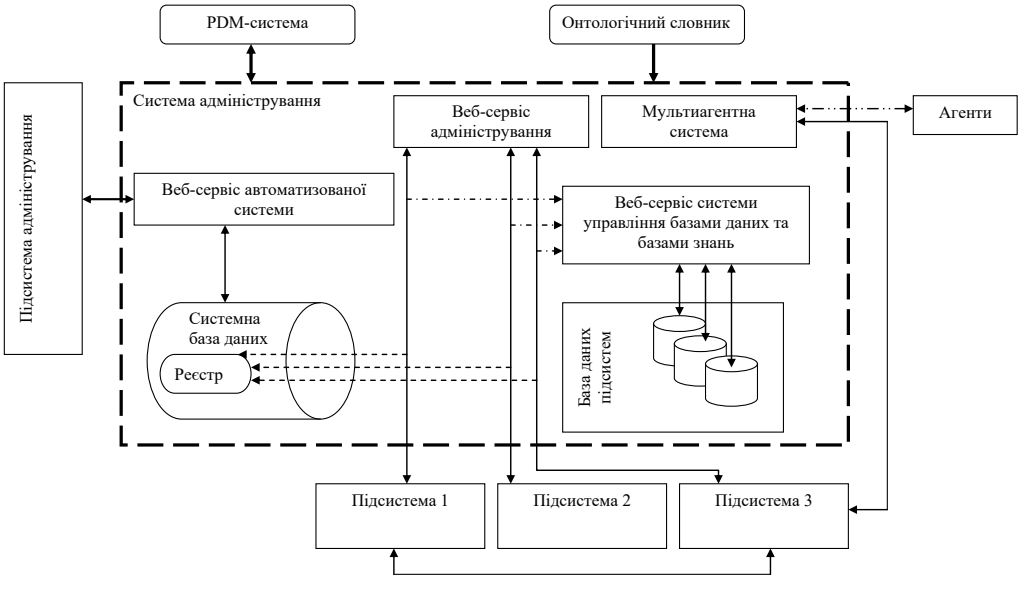


Рис 1. Архітектура веб-орієнтованої системи технологічної підготовки виробництва

Підсистема адміністрування (ПА) - центральний вузол системи, тобто набір вебсервісів, баз даних і знань. Через ПА проводять аутентифікацію та авторизацію користувачів, ідентифікацію підключених підсистем тощо. В рамках ПА зберігаються дані для підключених підсистем. Підсистема адміністрування забезпечує взаємодію всіх інших підсистем між собою і містить наступні компоненти:

1. Веб-сервіс системи технологічної підготовки виробництва .

2. Веб-сервіс адміністрування, через який здійснюється аутентифікація і авторизація користувачів. Дозволяє проводити ідентифікацію підсистем при їх запитах до системи. Надає підсистемам список прав доступу користувача для їх обробки.

3. Веб-сервіс системи управлення базами даних та базами знань

4. Мультиагентна система дозволяє підсистемам взаємодіяти між собою і обмінюватися інформацією. Для обміну інформацією використовується база знань, заснована на онтологічному словнику.

5. Системна БД - база даних системи, в якій зберігається системна інформація про веб-орієнтовану системи технологічної підготовки виробництва, а саме, інформація про підприємства та користувачів, їх ролі та права доступу, а також зберігається інформація про конфігуруванні системи стосовно кожного підприємству.

6. Реєстр – система, де зберігається інформація про підключені підсистеми, а також інформація про дані, що надаються підсистемами для подальшої взаємодії між собою та інша необхідна інформація.

7. БД підсистем - в рамках веб-орієнтованої системи технологічної підготовки виробництва є можливість за допомогою вищеописаного реєстру створювати БД з таблицями, що містять інформацію підключених підсистем. До кожної БД має доступ відповідна їй підсистема.

Підсистема управління - веб-сервіс, що надає візуальний інтерфейс користувача та дозволяє:

1. проходити аутентифікацію в системі, як в рамках підсистеми управління, так і для подальшої переадресації до підключеним підсистем;

2. адмініструвати як веб-орієнтовану систему технологічної підготовки виробництва систему, так й інші підключені до неї підсистеми, тощо;

3. проводити конфігурацію системи для кожного виробництва, що входить до розширеного підприємство на основі безлічі технологічних підсистем;

4. проводити обмін інформацією між учасниками розширеного підприємства.

Система документообігу (PDM-система) - зовнішня система, яка використовується для створення єдиного інформаційного простору розширеного підприємства, що дозволяє здійснювати документообіг між підприємствами і підрозділами. ТІС повинна мати можливість інтегруватися і зберігати вихідні дані в PDM-системи.

Для виконання технологічних завдань в рамках архітектури веб-орієнтованої системи технологічної підготовки виробництва до системи підключаються підсистеми спеціального призначення, які діляться на два типи.

1. Підсистеми - веб-додатки, які вирішують технологічні завдання і входять до складу системи. Підсистеми запускаються з урахуванням прав користувача, що викликає додаток, і прав доступу до баз даних (знань), які буде використовувати додаток.

2. Агенти - підсистеми, здатні взаємодіяти між собою в рамках веб-орієнтованої системи технологічної підготовки виробництва. підсистеми мають можливість розширення до агентів за допомогою абстрактного класу «Агент», який запитується у адміністратора системи, що дає можливість взаємодіяти і обмінюватися інформацією між собою, використовуючи веб-сервіс MultiAgentSystem.

ВИСНОВОК

Запропонована архітектура веб-орієнтованої системи технологічної підготовки виробництва спрощує супроводження програмного та інформаційного забезпечення підсистем автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва за рахунок централізованого їх находження в дата центрі, можливостей підключення сторонніх додатків тощо.

Результати роботи можна використовувати як основу для побудови та апробації автоматизованих систем технічної підготовки виробництва в рамках навчального процесу для обробки та модернізації алгоритмів роботи систем, після чого можливе використання в межах розширеного підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Вислоух С. П., Філіппова М.В. Методика автоматизованого проектування технології складання виробів приладобудування, Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування», № 32, С. 111–117, 2006

[2] Куликов, Д. Д. Чертков, С. А. Система поиска средств технологического назначения как web – служба, Известия вузов. Приборостроение, Т. 53, N 6, с. 54- 59, 2010.

[3] Inductry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries / The Boston Consulting Group, Inc – April 2015 Режим доступу: https://www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm80-185183.pdf.

[4] Е.И. Яблочников, В.И. Молочник, А.А. Миронов. ИПИ-технологии в приборостроении / Учебное пособие – СПб: СПбГУИТМО, 2008. – 128 с.

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

УДК 681.625.8

О.В. Матошин, студент гр. ПБ-81
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИКА ПОЗИЦІОНУВАННЯ 3D ПРИНТЕРА ІЗ КІНЕМАТИКОЮ «ДЕЛЬТА»

Анотація. В статті розглянуто моделювання точності позиціонування виконавчого органу 3D принтера із кінематикою «Дельта». Проведено аналіз похибок, які виникають в процесі переміщення каретки з друкуючою головкою, і оцінено їх вплив на точність та якість деталей. Запропонована математична модель аналізу абсолютних, відносних та динамічних похибок позиціонування каретки з друкуючою головкою в процесі друку.
Ключові слова: «Дельта» 3D-принтер, кінематика, позиціонування, похибки, друкуюча головка.

ВСТУП

У сучасному виробництві все більш широкого застосування знаходять адитивні технології, які дозволяють отримувати вироби практично будь-якої складності і конфігурації, і мають широке застосування в авіаційній і ракетно-космічній, приладо- та машинобудівній, медичній та інших галузях [1, 2].

Тенденція підвищення вимог до якості виробів все більше пов'язана з нетрадиційними конструкторськими та технологічними рішеннями, реалізація яких утруднена і навіть неможлива на основі використання традиційних методів та технологій. У той же час сучасні технології 3D-друку часто не відповідають вимогам до точності виробів, що є наслідком недостатнього наукового забезпечення технологій швидкого прототипування, відсутністю інформації про основні закономірності зміни технологічних параметрів процесу друку і їх зв'язок з параметрами точності виробів [3, 4].

У зв'язку з ростом кількості технологічних завдань, що вирішуються при виробництві продукції приладобудування та їх різноманітності, зростання вимог до технологічного обладнання технологій 3D-друку, призначеного для їх вирішення, є актуальною науково-технічною задачею.

Метою роботи є розробка методики підвищення точності позиціонування 3D принтера із кінематикою «Дельта» в умовах адитивного виробництва.

АНАЛІЗ 3D ПРИНТЕРА ІЗ КІНЕМАТИКОЮ «ДЕЛЬТА»

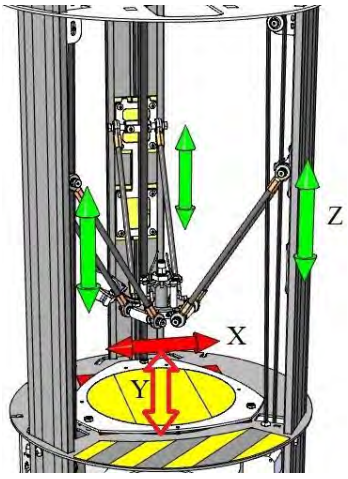


Рисунок 1. Загальний вигляд 3D принтера із кінематикою «Дельта»

На точність виготовлення виробів на 3D принтері впливає позиціонування виконуючого органу – друкуючої головки, її параметри точності можна оцінювати як відхилення від заданої траєкторії руху. У кінематиці 3D принтеру «Дельта» переміщення друкуючої головки здійснюється за допомогою трьох однакових кареток, що рухаються по вертикальних направляючих відносно осей XYZ (рис. 1).

Внаслідок цього тримач друкуючої головки, який пов'язаний з каретками за допомогою пантографічних механізмів із шарнірами, завжди розташовується

паралельно до площини стола [5].

Перевагами кінематики «Дельта» є: висока швидкість друку внаслідок переміщення по трьох координатах, низькі енерговитрати, невеликі габарити в ширину і досить велика висота, що дає можливість конструювати високі вироби. Дельта-принтер здатний розвивати швидкість переміщення друкуючої головки та друку до 300 мм/с.

До основних недоліків даної кінематики слід віднести накопичення похибки позиціонування внаслідок того, що кожна точка кріплення має свій крокový двигун, і це в свою чергу призводить до похибок переміщення [6].

МЕТОДИКА ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Одним з основних органів 3D-принтера є каретка з екструдером і направляючими осями. Каретка, закріплена на одній з рухомих осей 3D-принтера, і приводиться в рух за допомогою передачі руху від двигунів на вісь. Виходячи зі швидкості друку і маси каретки, можуть виникати проблеми з точним відтворенням моделі друку у зв'язку зі зміщенням друкуючої головки щодо необхідного розташування, що впливає на точність позиціонування.

Основними параметрами, які необхідно забезпечити при позиціонуванні 3D принтера із кінематикою «Дельта» є швидкість та точність друку. Жорсткість принтера із такою кінематикою не має досить важливого значення. При цьому ці параметри – швидкість та точність друку взаємопов'язані, тобто підвищення одного з них негативно впливає на інший.

При виконанні 3D-друку принтером із кінематикою «Дельта» виникають абсолютні, відносні та динамічні похибки позиціонування каретки з екструдером.

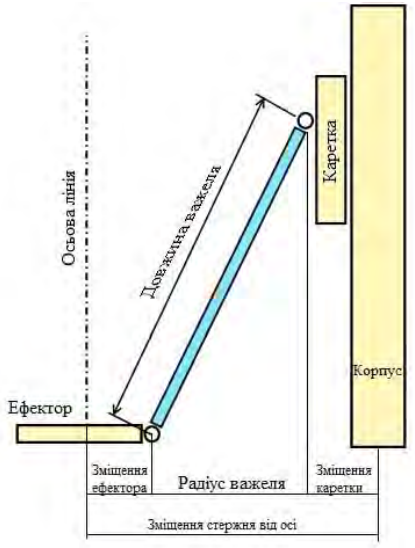


Рисунок 2. Дельта-розміри для створення математичної моделі 3D принтеру [3]

Абсолютні похибки позиціонування викликані розбіжністю ідеальної математичної моделі дельта-принтера з його реальною геометрією [3]. Їх можна звести до мінімуму ретельним юстируванням при складанні (паралельність всіх направляючих, перпендикулярність направляючих поверхні столу) і точним виміром всіх дельта-розмірів (рис. 2).

Відносні похибки викликані наявними люфтами в кінематиці принтера. Основні з них: люфт кареток відносно направляючих і люфт в шарнірах діагональних важелів [3]. Використання направляючих алюмінієвого профілю з V-пазом в парі з каретками на V-роликах і магнітними шарнірами дозволяють зменшити ці люфти до незначних величин.

Динамічні похибки проявляються при швидкому переміщенні друкуючої головки на великі відстані. При цьому головка рухається не по прямій, а по дугоподібній траєкторії. Це пов'язано з недосконалістю програмного забезпечення, що обчислює прискорення для кожної каретки [6].

Динамічні похибки відсутні при повільних переміщеннях друкуючої головки, під час яких програмний механізм прискорення відключений [3].

Для розв'язання задачі позиціонування каретки з екструдером 3D-принтера із кінематикою «Дельта» необхідно формалізувати пряму та обернену кінематичні задачі.

У прямій задачі відома позиція, в яку ми переміщуємо екструдер 3D принтера. Для цього потрібно визначити величини кутів, на які необхідно повернути двигуни, пов'язані з важелями принтера, щоб встановити його в правильне положення. Процедура визначення цих кутів називається зворотною (інверсною) кінематичною задачею [7].

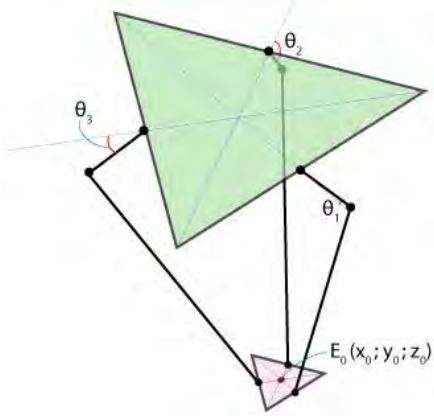


Рисунок 3. Схема представлення екструдера та столу 3D принтера у вигляді рівносторонніх трикутників [7]

У прямій кінематичній задачі вже відомі кути, і необхідно визначити місце розташування екструдера 3D принтера в просторі (наприклад, щоб скорегувати його позицію).

Формалізуємо дані задачі: нерухому нагрівну платформу 3D-принтера і його екструдер представимо у вигляді рівносторонніх трикутників, що зображені на рисунку 3. Кути повороту важелів принтеру щодо площини столу позначені як θ_1, θ_2 і θ_3, а точка $E_0(x_0, y_0, z_0)$ розташована в центрі рухомої платформи, де в ній закріплений екструдер.

Для визначення точності позиціонування та розв'язання кінематичних задач необхідно створити математичну модель (дві цільові функції):

$$f_{об} = (x_0, y_0, z_0) \to (\theta_1, \theta_2, \theta_3). \quad (1)$$

$$f_{пр} = (\theta_1, \theta_2, \theta_3) \to (x_0, y_0, z_0). \quad (2)$$

Таким чином, через набір параметрів, що визначають геометричні розміри дельта-принтера знаходяться залежності для оцінки похибки позиціонування.

Розроблена математична модель дозволяє визначити конструктивні характеристики 3D-принтера із кінематикою «Дельта». Для вирішення задачі підвищення точності позиціонування виконавчого органу 3D принтера із кінематикою «Дельта» використано чисельний метод Ньютона для розв'язання системи нелінійних рівнянь прямої та зворотної кінематичної задачі. Даний метод реалізовано використанням мови програмування С++. Отримані результати дозволяють прогнозувати точність переміщення каретки з друкуючою головкою та підвищити ефективність автоматизації технологічного процесу 3D друку.

ВИСНОВКИ

Як показав аналіз 3D принтера «Дельта» його кінематика має суттєвий недолік накопичення похибки позиціонування. Запропонована методика позиціонування 3D принтера із кінематикою «Дельта» дозволяє оцінити та усунути похибки позиціонування каретка з екструдером, максимально наблизивши траєкторію переміщення до прогнозованих моделей.

Подальші дослідження дозволять підвищити точність позиціонування каретки з екструдером 3D-принтера із кінематикою «Дельта».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Новаковский А.Г., Антонюк В.С. Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3D-принтері // Республиканский межотраслевой производственно практический журнал. -Минск –No 3(72) –2016. – С. 11 –12.
[2] Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.
[3] Погрешности позиционирования в Дельта-принтере. – Режим доступу: URL: http://www.kfti.knc.ru/personal/dak/list.php?ELEMENT_ID=4851&SECTION_ID=1906 – 10.04.2021 р.
[4] Новаковский О.Г., Рудь М.П., Антонюк В.С., Бондаренко М.О. Підвищення якості поверхонь виробів, отриманих методом 3D друку // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»: Серія приладобудування. – 2020. – Вип. № 61 (2) – С. 52 - 57. https://doi.org/10.20535/1970.60(2).2020.221450
[5] Кинематика Дельта. – Режим доступу: URL: http://www.kfti.knc.ru/personal/dak/list.php?ELEMENT_ID=4836&SECTION_ID=1906 – 11.04.2021 р.
[6] Новаковский А.Г., Антонюк В.С., Петренко С.Ф. Применения пьезоэлектрических актуаторов в микроманипуляторах // Вісник Черкаського державного технологічного університету: Серія технічні науки – Черкаси.: ЧДТУ., 2017. – Вип. №. 4 – С. 5-10. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchdtu_2017_4_3.
[7] Кінематика дельта-робота. – Режим доступу: URL: https://habr.com/ru/post/390281/ – 10.04.2021 р.

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

УДК 621.85

Панкратов Є.В. студент гр. Пб-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ГІДРАВЛІЧНА ТРАНСМІСІЯ ВЕЛОСИПЕДУ

Анотація. В статті було розглянуто конструкції різних трансмісій як складову приводного механізму велосипеда, більш детально було розглянуто конструкцію гідравлічної трансмісії, як найбільш придатної для експлуатації велосипеда у дисципліні МТБ (маунтінбайк). Було виконано вибір та обґрунтування гідравлічного насосу трансмісії.

Ключові слова: трансмісія, гідравлічна трансмісія, аксіально поршневий насос, маунтінбайк.

ВСТУП

Класична ланцюгова трансмісія є домінуючим типом передачі зусилля від ніг велосипедиста, до заднього колеса велосипеда. З огляду на багаторічний досвід її використання, рівень сучасних ланцюгових трансмісій досить високий, проте все ж існують деякі фундаментальні недоліки.

Велосипедний спорт представлений багатьма дисциплінами (стилями) катання, та не всі вони потребують високотехнологічну трансмісію. Наприклад такі мінімалістичні дисципліни як: dirt jump (рис.1), BMX race, four cross, BMX freestyle, повністю сформувалися використовуючи максимально прості та надійні компоненти, такі як: ланцюгова трансмісія з однією швидкістю, зварна рама досить малих розмірів, ригідна або короткохідна вилка (передній амортизаційний елемент велосипеду). Ці велосипеди фактично стали визначниками свого стилю і не потребують значних технічних покращень.

Але наскільки висока спеціалізація цих велосипедів робить їх зручними в визначеному стилі, на стільки ж вони є не підходящими для інших.

Рис. 1 Велосипед для DitJump

Рис. 2 Велосипед для Downhill

Крім культових, гарно сформованих і не потребуючих складних технічних засобів дисциплін, значно популярнішими є ті, що розвиваються і змінюються щороку. Кожен сезон велосипедні фірми представляють все більш сучасні і технічно досконалі велосипеди для таких дисциплін як: downhill (рис.2), enduro, trail, cross country. Ці напрямки велоспорту водночас є найбільш доступними для початківців, та цікавими для професійних спортсменів. Вони є технологічно найбільш розвинутими, оскільки в таких велосипедах використовуються складні системи передньої та задньої підвіски, силові елементи виробляються з новітніх композитів, для досягнення оптимальних показників ваги та

міцності, а також використовуються найкращі сучасні розробки трансмісій велосипеду.

Вищезазначені дисципліни передбачають обов'язкове використовування перемикача передач, що є найслабкішою частиною конструкції снаряду. Тому в даній роботі було запропоновано технічне рішення для ліквідації проблеми спортивного характеру, а саме для покращення результатів спортсменів та поліпшення досвіду використання велосипедів відповідного класу для любителів.

КОНЦЕПЦІЯ РОЗРОБКИ

Основною ідеєю гідравлічної трансмісії є відмова від використання класичного ланцюга, що має великий перелік недоліків. У гідравлічній трансмісії енергія передаватиметься за допомогою робочої рідини (частіше за все робочою рідиною є мастило), тиск якої буде створюватись за допомогою насоса аксіально-поршневого типу, що буде розташований безпосередньо на вісі шатунів (деталь велосипеду, до якої пригвинчуються педалі).

Використовуючи фізичну властивість неможливості стиснення рідини, тиск буде переданий гідро-лініями (трубка, що витримує великий внутрішній тиск) від насосу у каретці (деталь велосипеда, у якій розміщують підшипники вісі шатунів), до гідравлічного двигуна у втулці заднього колеса.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТИПУ НАСОСУ

Конструкція аксіально-поршневого насосу цікава тим, що створення тиску у ньому відбувається за допомогою поршнів. Головна їх перевага, це простота ущільнення, на відміну від пластин, у пластинчатому насосу, шестерень у шестерному насосі і тому подібних, якісне ущільнення яких є проблемою. Поршні у такій системі рухаються послідовно, і приводяться до руху за допомогою похилої пластини (рис.3), що закріплена на привідному валу, в наслідок чого дана топологія насосу є однією з найкраще адаптованих для динамічного змінення робочого об'єму[1].

Рис. 3 Похила пластина

Робочий об'єм насосу/ гідродвигуна – це об'єм робочої рідини, що використовується для одного повного оберту механізму. Відношення робочого об'єму насосу до робочого об'єму двигуна дорівнює коефіцієнту передачі крутного моменту. Його зміна дозволить реалізувати перемикання передач[2].

Ключовою у виборі типу насосу гідравлічної трансмісії була можливість динамічно змінювати відношення робочих об'ємів, а отже і коефіцієнт передачі крутного моменту, реалізуючи безступеневе перемикання передач з великим діапазоном[3].

ПЕРЕВАГИ ГІДРАВЛІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ

Не зважаючи на високі ціни кращих серійних трансмісій, вони все ще є заручниками своєї топології, а саме маючи ланцюг з великою кількістю рухомих з'єднань та перемикач передач складної конструкції. Під час експлуатації перемикача передач, у разі потрапляння у нього стороннього предмета, наприклад каміння, він виходить з ладу без можливості відновлення, а робота безпосередньо у навколишньому середовищі також значно зменшує ККД і ресурс. У Гідравлічній трансмісії вище перераховані недоліки відсутні, оскільки система є повністю герметичною, її ресурс обмежений лише зношуванням ущільнювачів. Система є повністю інтегрованою, а тому вона є не чутливою до фізичних впливів.

Однією з особливостей даної системи, у порівнянні з ланцюговими, є зменшення габаритів велосипеду. Виключивши чутливий елемент, розташованого у зоні великого ризику фізичного впливу внаслідок якого може відбутися руйнування, гідравлічна трансмісія значно підвищує ходові характеристики та стресостійкість спортивного снаряду.

Завдяки особливості топології обраного насосу, а саме можливості зменшувати робочий об'єм до безкінечно малих величин, за рахунок встановлення похилої пластини у положення близьке до горизонтального, діапазон передач є незакінченим у ідеальній системі, і близьким до такого, якщо враховувати ККД, фізичну жорсткість системи, якість робочої рідини. В результаті розрахунку передатного відношення було доведено ефективність вибору обраного типу насосу.

$$K_{пер.} = V_1/V_2 \quad (1)$$

$$V_2 = 2R \cdot \sin\alpha \cdot \pi r^2 \quad (2)$$

$K_{пер.}$ = Передатне відношення моменту;
V_1 = Робочий об'єм двигуна трансмісії, є постійним;
V_2 = Робочий об'єм насоса, є динамічним;
R = Радіус, яким нахильна пластина здійснює тиск на поршень;
r = Радіус поршня;
α = Кут нахилу пластини;

Таким чином, підставивши у формулу (2) кут нахилу, близький до нуля, ми отримаємо коефіцієнт, близький до незакінченості. Якщо врахувати реальні умови роботи системи, а саме виникнення деякого об'єму деформації системи, отримаємо формулу 3. Отже жорсткість системи є визначальним фактором діапазону передатного відношення.

$$K_{пер.} = \left|\frac{V_1}{V_2} - V_{деф.}\right| \quad (3)$$

$V_{деф.}$ = об'єм фізичного розширення системи, у наслідок дії тиску робочої рідини;

ВИСНОВОК

Проаналізувавши конструктив трансмісії, ринок сучасних аналогів, сферу використання, ми можемо виділити наступні переваги гідравлічної трансмісії: плавна зміна передаточного співвідношення, дозволяє ідеально підлаштовувати трансмісію під конкретного спортсмена у конкретний момент; перспектива автоматизації роботи системи, полягає у організації системи моніторингу та керування на базі мікроконтролерів; конструктивна зручність підключення систем допомоги велосипедисту, наприклад електромотор; великий ресурс трансмісії; стійкість до зовнішнього середовища; великий діапазон зміни коефіцієнту передачі крутного моменту; мала вага трансмісії. Досягши технологічної досконалості, даний девайс має великі шанси монополізувати ринок трансмісій для спортивних велосипедів у відповідних класах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Гидравлика : учебник / Д. В. Штеренлихт. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : КолосС, 2004. - 656 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений)..»

[2] Насосы гидравлических систем станков и машин / А. Е. Леонов. - Москва ; Киев : Машгиз, 1960. - 226 с.

[3] Чиняев И. А. Поршневые насосы. — М.: Машиностроение, 1966. - 188 с.

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

УДК 658.562

Д.М. Проскуренко, студент гр. ПБ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ВИРОБІВ НА РАННІХ ЕТАПАХ ПРОЕКТУВАННЯ

Анотація. Розглянуто процеси забезпечення технологічності виробів на етапах розробки технічного завдання, ескізного і технічного проектів. Розроблена модель, побудована з використанням технології SADT, дозволить ефективно проводити аналіз конструкції виробу, встановити послідовність проведення робіт, виявити фактори, що впливають на якісну і кількісну оцінку технологічності.

Ключові слова: виріб, SADT-методологія, інформаційна модель, оцінка технологічності, технологічність конструкції.

ВСТУП

Посилення конкурентної боротьби в діючих економічних умовах змушує промислові підприємства безперервно вдосконалювати свою продукцію. При цьому одним з найважливіших системних властивостей конструкції виробу, що визначають його проектування, виготовлення і подальшу експлуатацію з найкращою якістю, найменшими витратами коштів і часу, є технологічність. Ключовим елементом в рамках комплексної системи забезпечення технологічності конструкції є відпрацювання і оцінка технологічності на всіх етапах життєвого циклу виробу.

Останнім часом приходить розуміння й облік того факту, що центр ваги робіт по забезпеченню технологічності конструкцій зміщується на етапи проектування, де формується більшість технічних характеристик та закладаються економічні показники конкурентоспроможності та собівартості виробу. У цих умовах важливо забезпечити інформаційний супровід процесів управління технологічністю на ранніх етапах проектування. Необхідний детальний аналіз і точний опис процесів, які відбуваються на етапах розробки технічного завдання (ТЗ), ескізного і технічного проектів, що дозволить забезпечити фахівців (конструкторів, технологів, матеріалознавців) інформацією для вироблення управляючих впливів із забезпечення необхідного рівня технологічності, підвищення об'єктивності результатів її оцінки. В якості сучасного інструменту інформаційного моделювання та аналізу технологічності виробу доцільно використовувати технологію IDEF, а саме методологію SADT.

ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ НА ЕТАПАХ ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБУ

Забезпечення технологічності конструкцій виробів включає таку важливу системну функцію як створення й впорядкування інформаційного супроводу розробки та освоєння випуску високотехнологічних виробів. Від цього залежить ефективність робіт, що проводяться фахівцями щодо забезпечення технологічності. Згідно з даними статистичних спостережень підприємств машинобудування [1], найбільша ефективність робіт (до 80%) щодо забезпечення технологічності конструкції виробу припадає на етапи розробки ТЗ, технічної пропозиції та ескізного проекту.

Для ефективного проведення інформаційного моделювання процесів відпрацювання технологічності конструкцій проектний цикл був розділений з урахуванням цілеспрямованості, послідовності робіт і специфіки конструювання приладів на етапи, приблизно відповідні загальноприйнятому поділу стадій проектування: розробка ТЗ і структурної схеми виробу(розробка ТЗ); розробка принципових схем на рівні окремих блоків(розробка ескізного проекту); розробка конструкції виробу(розробка технічного проекту і робочої документації).

Проведені дослідження показали, що на всіх розглянутих етапах активно протікають процеси формування технологічності.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ НА ЕТАПІ РОЗРОБКИ ТЗ І СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВИРОБУ

До розробки виробу приступають після отримання заявки, в якій замовник формулює вимоги, що пред'являються до майбутнього виробу. Формування ТЗ здійснюється розробником спільно із замовником і передбачає початкове уточнення виробу-аналога, що має ідентичне функціональне призначення. Відбір аналога проводиться шляхом аналізу інформації про вироби вітчизняного і зарубіжного виробництва з точки зору найкращих показників технологічності, собівартості, трудомісткості. На розглянутій стадії немає достатньої інформації по доданкам собівартості, тому можливо лише визначення її приблизного рівня за питомими показниками матеріальних і трудових витрат для різних видів виробів-аналогів. Вибір аналога багато в чому зумовлює кордон стандартних, уніфікованих, запозичених деталей і складальних одиниць, що входять у виріб. Аналіз умов експлуатації майбутнього виробу дозволяє сформулювати вимоги до експлуатаційної технологічності, тим самим, зумовлюючи і ступінь технологічності в сфері виробництва, так як ці елементи закладаються і в виробничу технологічність [2].

На основі аналізу функціональної моделі об'єкта проектування вибирається блок-схема виробу. При виборі використовуються масиви інформації про аналоги виробів, при цьому враховується не тільки якість функціонування об'єкта, а й можливість реалізації у вигляді принципової схеми. Таких структурних схем розглядається кілька, з яких функціонально-вартісним аналізом вибирається і-й варіант структури.

Функціонально-вартісний аналіз передбачає абстрагування функцій виробу від матеріальних його компонентів, аналіз цих функцій з точки зору корисності для споживача, виявлення складу зайвих функцій, встановлення відповідних блоків для їх подальшого виключення, заміни або об'єднання.

Етап завершується оцінкою потенційної технологічності виробу і формуванням остаточної структурної схеми майбутнього виробу.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ НА ЕТАПІ ВИБОРУ І ОБГРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПОВИХ СХЕМ ОКРЕМИХ БЛОКІВ ВИРОБУ

Кількість можливих схемних рішень різко зростає зі збільшенням складності виробу та кількості його складових частин. Розробник виявляє варіанти схемотехнік, встановлює їх особливості, проводить інженерний аналіз і економічну оцінку варіантів. На цьому етапі проектування найбільш технологічною, з точки зору розробника, буде схема, в якій використані відпрацьовані схемні рішення, які не потребують додаткових досліджень. Важливо підкреслити, що на стадії ескізного проекту доцільно залучити технологів для консультацій по прийнятим рішенням. Розробник при проектуванні прагне забезпечити, перш за все, задані технічні параметри, нехтуючи часто глибоким аналізом ступеня складності виготовлення виробу. Тому технологи, грунтуючись на оцінці технологічних можливостей своєї виробничої бази, вносять зміни в рішення, що дозволяє уникнути труднощів узгодження конструкції з технологією надалі, при освоєнні виробу.

Важливим кроком є й відпрацювання рішень на макетах, що відтворюють складові блоки виробу і дозволяють оцінити технологічність по застосовуваним елементній базі, складності, паралельності складання тощо [5].

На цьому етапі доцільно провести розрахунок таких показників технологічності, як трудомісткість виготовлення виробу, коефіцієнт ефективності взаємозамінності, коефіцієнт стандартизації деталей, коефіцієнт уніфікації вузлів/деталей і ін., а також наближене значення комплексного показника технологічності конструкції виробу.

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ НА ЕТАПІ РОЗРОБКИ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ.

На етапі розробки конструкції виробу здійснюється загальна компоновка виробу з блоків, розробляються складальні креслення. На перший план в області відпрацювання конструкції на технологічність висувається якісна оцінка прийнятих конструкторських рішень [1, 5]. При цьому керуються технологічними рекомендаціями по різним процесам виготовлення, щоб виробити таку компоновку виробу, так розташувати посадочні місця елементів, кріплення, щоб вони забезпечували можливість паралельного складання вузлів виробу, використання уніфікованих складальних одиниць і деталей, простоту регулювання та контролю, виконання інших вимог виробничої й експлуатаційної технологічності.

На цій же стадії доцільно продовжувати техніко-економічний аналіз створюваної конструкції, вузлів, блоків і деталей, основною метою якого є пошук найбільш економічних конструктивних рішень в наступних напрямках: зниження матеріаломісткості деталей і складальних одиниць; використання уніфікованих, запозичених і стандартизованих елементів; пошук більш дешевих матеріалів при забезпеченні заданих характеристик; застосування конструктивно-естетичних рішень, що дозволяють забезпечити привабливість виробу для споживача.

Співпраця розробників з виробниками має бути ще більш тісна, так як на двох останніх етапах ефективність робіт з відпрацювання технологічності виробу становить 35%. При цьому визначаються основні укрупнені дані для організації технологічної підготовки виробництва, з'ясовуються можливості застосування типових технологічних процесів або запровадження нових, співвідноситься наявна матеріальна база засобів технічного оснащення виробника з необхідною для якісного виготовлення виробу. На етапі розробки конструкції створюється його дослідний зразок, в результаті випробувань якого відпрацьовується технологічність.

На виході етапу формується повний комплект конструкторської документації і передається виробнику відпрацьований на технологічність дослідний зразок виробу.

В якості ілюстрації на рис. 1 приведена інформаційна модель процесів відпрацювання технологічності виробу на етапі розробки конструкції.

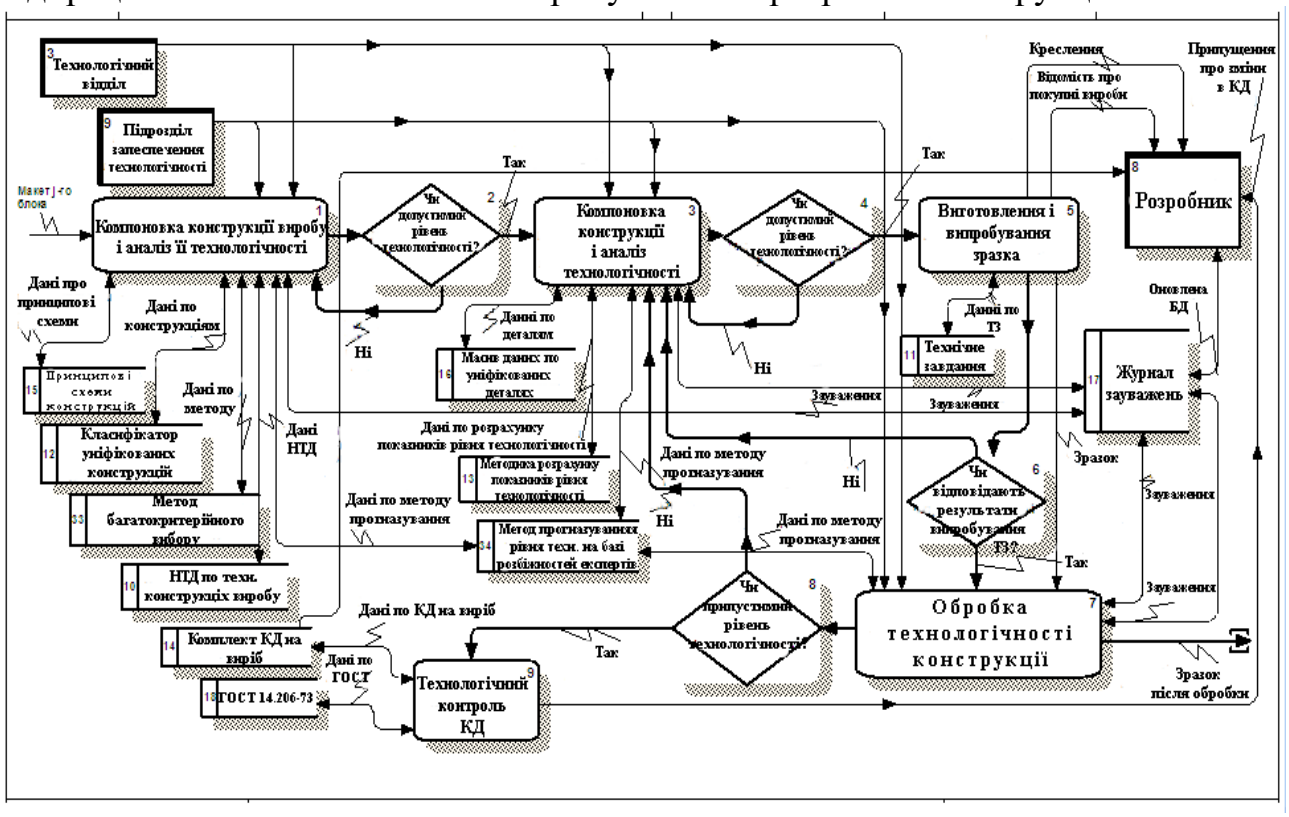


Рисунок 1. Інформаційна модель процесів забезпечення технологічності на етапі розробки конструкції.

При побудові моделі використовувалися підходи методології функціонального моделювання SADT (Structured Analysis & Design Technique) [3]. Функції представляються у вигляді блоків, дуги утворюють зв'язку між функціональними блоками і висловлюють безліч об'єктів (фізичних, інформаційних тощо), або виконують дії. Місце з'єднання дуги блоком визначає тип взаємодії: зліва - інформація, що піддається впливу (вхід), праворуч - результат (вихід), зверху - керуючі дані, знизу - механізм, який використовується для здійснення даної функції (людина, інструмент тощо) [4].

ВИСНОВОК

В результаті інформаційного моделювання з використанням методології функціонального моделювання SADT проведено аналіз процесів забезпечення технологічності конструкції виробу, встановлена послідовність і особливості проведення робіт, виявлені фактори, що впливають на якісну оцінку технологічності та показники кількісної оцінки технологічності конструкції на окремих етапах проектування.

Проведені дослідження показали, що на етапах проектування виробів спостерігаються інтенсивні інформаційні потоки між підсистемами, що сприяють якісному і кількісному аналізу виробу, його складових частин для підвищення рівня технологічності конструкції. Велика частина процесів формування, оцінки та відпрацювання виробів на технологічність пов'язана з переробкою якісної інформації про конструктивні форми і способи виготовлення елементів конструкції, вираженої у вигляді евристичних рекомендацій фахівців, вироблених під впливом їхнього досвіду, знань та інтуїції. Проблема якісної оцінки технологічності на ранніх етапах проектування полягає в тому, щоб, по-перше, зуміти достовірно виміряти інтенсивність факторів, що впливають на технологічність в умовах обмеженості інформації про виріб і, по-друге, знайти спосіб моделювання системи експертного оцінювання, що відповідає узагальненому показнику проектованої техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Захаркін О. У. Технологічні основи машинобудування : Навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / О. У. Захаркін ; Сумський держ. ун-т. — Суми : Видавництво СумДУ, 2004. — 98 с.

[2] Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН – Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с.

[3] Марка Д., Мак-Гоуен К. Методологія структурного аналізу і проектування. М .: Метатехнологія, 1993.

[4] Е. И. Яблочников ИПИ-технологии в приборостроении / Е. И. Яблочников, В. И. Молочник, А. А. Миронов. – СПб: ГУ ИТМО, 2008, – 128 с.

[5] Філіппова М. В., Демченко М. О., Матвієнко С. М. Моделювання технологічного процесу складання за допомогою IDEF0 //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2013. – Т. 2. – №. 3. – С. 62.

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

УДК 621.391

О.В. Скалозуб, студент гр. ПБ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ПОХИБОК ЮСТУВАННЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДИФРАКТОМЕТРА В КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІЙ СИСТЕМІ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СКЛА ОПТИЧНОГО СИЛІКАТНОГО

Анотація. У даній роботі проведено аналіз похибок юстування оптичної системи і способи їх зменшення, побудовано графіки, де показано вплив поперечних зміщень на частотну похибку. Аналіз оптичних систем когерентних спектроаналізаторів.

Ключові слова: аналіз ,автоматизація зменшення похибок юстування, дефекти, похибка юстування оптичної системи.

ВСТУП

В класичній оптиці вже давно відомо когерентні оптичні системи для спектрального аналізу просторових сигналів, в зв’язку з бурхливим розвитком лазерної техніки широке їх застосування стало більш можливим [1,2].З’явилась можливість створення оптичних спектроаналізаторів в зв’язку з розвитком голографії, які забезпечують реєстрацію амплітудного і фазового спектрів дослідного сигналу. В комп’ютерно- інтегрованій системі контролю показників якості скла оптичного силікатного використовуються для розробки ефективної методики аналізу розповсюдження когерентних світлових хвиль в оптичній системі спектроаналізатора[3,4].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Частотна похибка Δf_x внаслідок поперечних зміщень (децентрування) Δx_l деталей оптичної системи корегентних оптичних спектроаналізаторів непереборна лише вибором геометричних розмірів оптичної системи. Фізично вона виражає лінійне зміщення всього дифракційного зображення не залежно від просторових частот в площині спектрального аналізу. Крім того, оскільки Δf_x не залежить від f_x, спотворення масштабу не відбувається. Необхідно за центр системи координат площини спектрального аналізу вибрати положення нульового максимуму дифракційного зображення для того щоб усунути це зміщення

Метою даної роботи є аналіз первинних похибок а також їх подальше уникнення шляхом вибору узгоджених параметрів системи. Для корегентних оптичних спектроаналізаторів з вхідним транспарантом, розміщеним за Фур’є-об’єктивом досліджуються подібні залежності . Дається порівнення двох систем для корегентних оптичних спектроаналізаторів з вхідним транспарантом, розміщеним за об’єктивом Фур’є з точки зору досягнення мінімальних похибок просторових і енергетичних параметрів дефракційного зображення об’єкта, яке формується оптичною системою. Можливі похибки юстування деталей оптичної системи Корегентних Оптичних Спектроаналізаторів, які проявляються у вигляді повздовжніх дефокусувань, поперечних децентрувань і кутових перекосів

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для випадку, коли вхідний транспарант розташований в задній фокальній площині об'єктива Фур'є, розглянемо вплив поперечних зміщень Δx_i на частотну похибку Δf_x [3].

$$\Delta f_x = \frac{l_{12}+l_{23}}{\lambda l_{01} l_{23}}\Delta x_0 + \frac{l_{12}+l_{23}}{\lambda f' l_{23}}\Delta x_1 + \frac{1}{\lambda l_{23}}\Delta x_3. \quad (1)$$

Для цього для доданків функції Δf_x побудуємо графіки функцій впливу:

Графік залежності функції впливу $k^f_{\Delta x_0} = (l_{12}+l_{23})/(\lambda l_{01} l_{23})$, при довжині хвилі $\lambda = 0.6328$, фокусній відстані $f = 100$ і радіусом фронту освітленої хвилі в межах $l_{01} = 50...100$, $l_{12} = 50...100$, $l_{23} = 50...100$ (рис. 1).

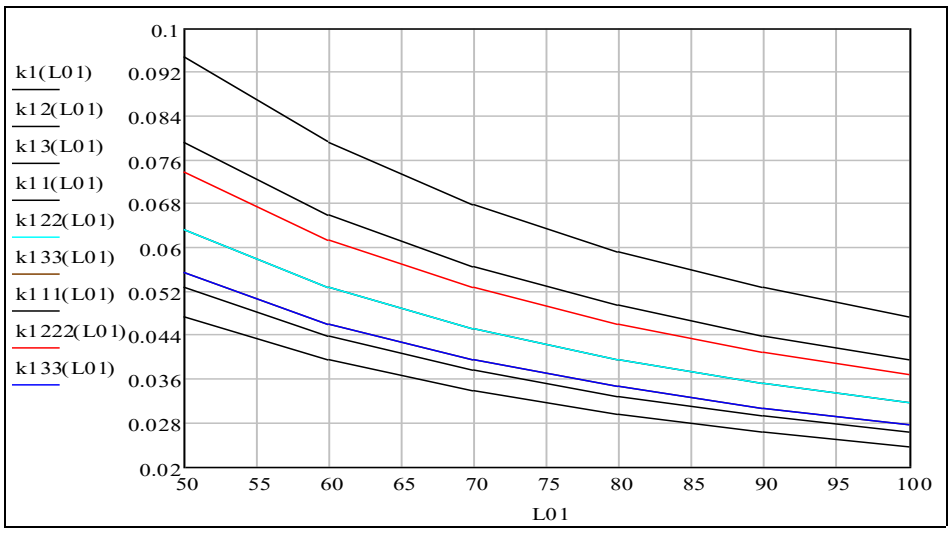


Рис 1 Графік залежності функції впливу $k^f_{\Delta x_0} = (l_{12}+l_{23})/(\lambda l_{01} l_{23})$.

Графік залежності функції впливу $k^f_{\Delta x_1} = (l_{12}+l_{23})/(\lambda f' l_{23})$, при довжині хвилі $\lambda = 0.6328$, фокусній відстані $f = 100$ і радіусом фронту освітленої хвилі в межах $l_{12} = 50...100$, $l_{23} = 50...100$ (рис. 2).

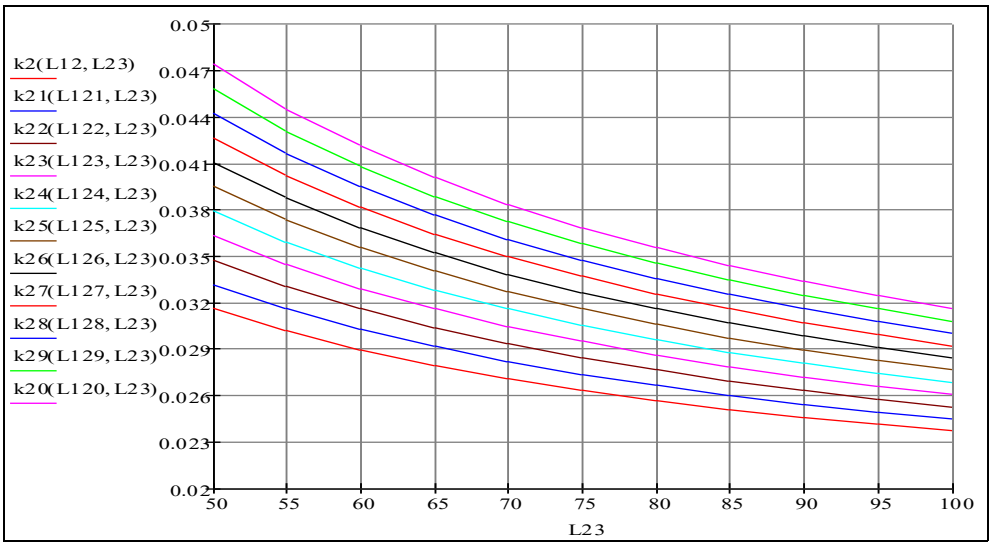


Рис. 2. Графік залежності функції впливу $k^f_{\Delta x_1} = (l_{12}+l_{23})/(\lambda f' l_{23})$.

Графік залежності функції впливу $k^f_{\Delta x_3} = \frac{1}{\lambda l_{23}}$, при довжині хвилі $\lambda = 0.6328$, фокусній відстані $f = 100$ і радіусом фронту освітленої хвилі в межах $l_{23} = 50...100$ (рис. 3).

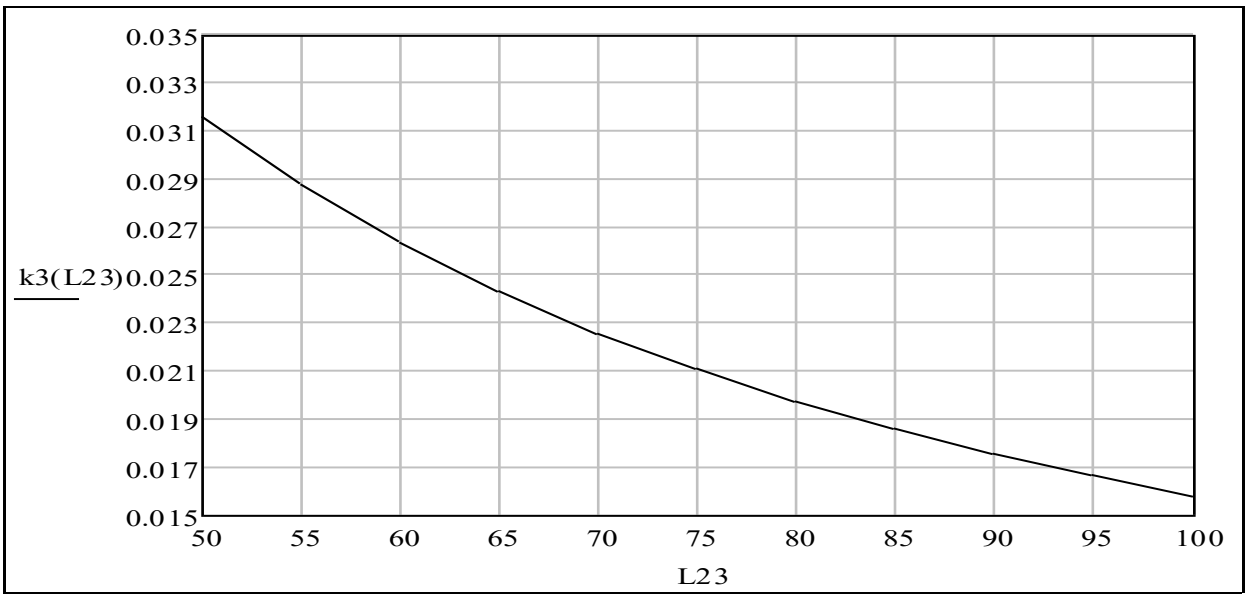


Рис. 3. Графік залежності функції впливу $k^f_{\Delta x_3} = \frac{1}{\lambda l_{23}}$

ВИСНОВКИ

Функція впливу $k^f_{\Delta x_0} = (l_{12} + l_{23})/(\lambda l_{01} l_{23})$ залежить від параметрів l_{01}, l_{12} і l_{23}, та довжини хвилі λ і обертається в нуль при $l_{01} \to \infty$. При цій умові $l_{12} + l_{23} = f'$, згідно умови Гауса фокусування центрованої оптичної системи $\frac{1}{l_{01}} + \frac{1}{l_{12} + l_{13}} = \frac{1}{f'}$ тобто площина $x_3 y_3$ спектрального аналізу розташована в задній фокальній площині Фур'є–об'єктива, крім того, оскільки Δf_x не залежить від f_x згідно (1), спотворення масштабу не відбувається.

2. Функція визначення впливу $k^f_{\Delta x_1} = (l_{12} + l_{23})/(\lambda f' l_{23})$ залежить від параметрів l_{12} і l_{23}, фокусної відстані f' та довжини хвилі λ при $l_{12} + l_{23} = 0$ функція впливу $k^f_{\Delta x_1}$ прямує до нуля; при $l_{01} \to \infty$ функція впливу $k^f_{\Delta x_1} = (l_{12} + l_{23})/(\lambda f' l_{23})$ досягає мінімального значення, при цій умові $l_{12} + l_{23} = f'$, а $k^f_{\Delta x_1} = \frac{1}{\lambda l_{23}}$;при збільшені l_{12} впливова функція $k^f_{\Delta x_2}$ зростає.

Отже, найбільш оптимальним варіаном є той, коли параметр l_{01} максимальний, а l_{12} - мінімальний, в такому випадку значення впливової функції буде зменшуватися, що в результаті призводить до зменшення частотної похибки Δf_x.

3. Функція впливу $k^f_{\Delta x_3} = \frac{1}{\lambda l_{23}}$ залежить від параметрів l_{23} та довжини хвилі

λ. Вона обернено пропорційна l_{23} і приймає мінімальне значення $1/\lambda f'$, яке може бути досягнуте при $l_{23} = f'$Таким чином, частотна похибка Δf_x, викликана поперечним децентруванням Δx_i деталей системи, не може бути усунена лише відповідним вибором параметрів спектроаналізатора. В вигляді лінійного зміщення всього дифракційного зображення незалежно від просторових частот в площині спектрального аналізу проявляється ця похибка. Крім того, оскільки Δf_x не залежить від f_x згідно $\Delta f_x = \frac{l_{12}+l_{23}}{\lambda l_{01} l_{23}}\Delta x_0 + \frac{l_{12}+l_{23}}{\lambda f' l_{23}}\Delta x_1 + \frac{1}{\lambda l_{23}}\Delta x_3.$, нелінійні спотворення масштабу спектру не відбувається, проте на роботу дифрактометрів впливають не тільки похибки юстування оптичної системи. Також враховується вплив показників якості скла на просторово-енергетичні параметри розсіяного випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] O'Shea D.C. Diffractive Optics Design, Fabrication and Test / D.C.O'Shea , T.J. Suleski, A.D. Kathman, D.W. Prather.– SPIE PRESS, WashingtonUSA , 2005. – 238 p.

[2] Дифракционная компьютерная оптика / под.ред. В. А. Сойфера. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 736 с

[3] .Колобродов В.Г., Тимчик Г.С. Прикладна дифракційна оптика.- Київ.: НТУУ "КПІ", ВПК "Політехніка", 2014, с.312.

[4] Колобродов В.Г,, Тимчик Г.С. Проектування дифракційних оптичних елементів і систем.- Київ, НТУУ КПІ, 2013, с.402

[5] Колобродов В. Г. Дифракційна теорія оптичних систем: підруч. / В. Г. Колобродов, .– К.: НТУУ «КПІ», 2011. − 148 с. – ISBN 978 -966 -622 -415 -9

Наук. керівник – д.т.н., проф. Тимчик Г.С.

УДК 621.865.8

О.А. Соколова, студентка гр. ПБ-01мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПРО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ

Анотація. В роботі обґрунтовано необхідність використання існуючих систем керування промисловими роботами та розробки нових. Наведено види систем керування промисловими роботами.

Ключові слова: система керування, промисловий робот, автоматизація виробництва, роботизований комплекс, методи керування.

ВСТУП

Промислові роботи є поширеними на сучасних виробництвах завдяки можливості забезпечення високої гнучкості автоматизованих виробничих систем. Промисловий робот (ПР) – це автономний пристрій, що складається з механічного маніпулятора та системи керування, який застосовується для переміщення об'єктів у просторі та виконання інших задач в різних виробничих процесах. Для виконання задач підвищеної відповідальності висуваються жорсткі вимоги до точності промислових роботів.

На точність ПР випливає велика кількість факторів, наприклад, вібрації, знос механічних частин, неточність відпрацювання приводу тощо, які поділяються на ті, що можуть бути усунені на етапі виробництва роботів, та ті, що виникають під час експлуатації та можуть бути виявлені лише в процесі роботи. Таким чином, через існування другого виду збудників актуальним є питання вибору доцільної системи керування, яка компенсує похибки, що виникають в процесі роботи та за прийнятних витрат забезпечують необхідну точність промислових роботів.

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ

Аби ПР міг виконувати необхідне переміщення, потрібно злагоджено та узгоджено керувати рухами окремих його ділянок. Також існує велика кількість зовнішніх та внутрішніх збурень, що впливають на здатність промислового робота добре виконувати поставлену задачу. Проблему усунення впливу даних факторів на точність роботи промислового робота може значною мірою вирішити система керування. Системи керування промисловими роботами умовно можна розділити на 4 види:

1. Обмежене послідовне керування.
2. Керуванням з відтворенням.
3. Програмне керування.
4. Інтелектуальне керування.

Обмежене послідовне керування [1] – це найпростіший спосіб управління промисловим роботом. Зазвичай його використовують для простих циклів руху, наприклад, захоплення об’єкту та відпускання його в певному місці (без переміщення). В даному виді керування не використовується зворотній зв'язок для індикації відносного положення з’єднань. Керування з’єднаннями виконується за допомогою кінцевих перемикачів та/або механічними обмежувачами, щоб закріпити основні точки переміщення кожного з суглобів.

Для визначення положення та послідовності виконується механічне переналаштування, а не програмування ПР. Основною задачею контролеру є передача сигналів у відповідній послідовності. Найбільшим недоліком є відсутність зворотного зв'язку, що вказує на досягнення бажаної точки простору.

Керуванням з відтворенням є більш складним видом керування. Основними ознаками даного виду є те. що робот навчається на серії положень, рухів, , швидкості та інших необхідних параметрів, пов'язаних з кожним рухом для подальшого їх відтворення під час виконання програми, що записуються у пам'ять контролеру, а потім відтворюються під його контролем. Процедура навчання та запису у пам'ять називається програмуванням промислового робота. Роботи з відтворенням мають зворотній зв'язок, аби гарантувати досягнення бажаного положення. Роботи з відтворенням поділяються на промислових роботів з керуванням від точки до точки та промислових роботів з неперервним керуванням.

1. Керуванням від точки до точки з відтворенням [1,2]. Даний вид керування передбачає тип програмування ПР, за якого маніпулятор досягає заданого положення, зупиняється, виконує певну задачу, а потім переміщується до наступної точки. Робот навчається кожній точці, що записуються до блоку керування ПР, при цьому шлях між точками не контролюється. Даний вид керування використовується при завантаженні та розвантаженні машин, а також за точкового зварювання.

2. Неперервне керування траєкторією з відтворенням[2]. За даного виду керування промисловий робот виконує цикли рухів, в яких контролюється шлях, який проходить робот. Контролер повинен мати набагато більший об'єм пам'яті, оскільки кількість даних для запису набагато більше, аніж за керування від точки до точки. Таким чином, точки, що складають цикл руху, повинні бути розташовані якомога ближче одна до одної, аби рух промислового робота був максимально плавний та неперервний.

Проте є інша інтерпретація даного виду керування – із застосуванням інтерполяції. До контролеру записуються точки з певним кроком та за допомогою лінійної або кругової інтерполяції розраховується шлях для промислового робота. Використання інтерполяції дозволяє зменшити об'єм пам'яті контролеру та кількість точок запам'ятовування та завжди забезпечує плавність та неперервність ходу промислового робота.

Неперервне керування траєкторією з відтворенням застосовується там, де є необхідність у відтворенні траєкторії, наприклад, для дугового зварювання або нанесення покриття.

Програмне керування передбачає керування виконавчим пристроєм промислового робота за заздалегідь заданою програмою. Вони можуть бути циклічні, позиційні та контурні.

Циклічна система керування промисловим роботом призначена для ряду команд в певній послідовності, але без регламентації переміщення кожної з осей. У таких роботів за програмою, що задається зазвичай від мікроконтролера, змінюється тільки цикл рухів - послідовність включень приводів за ступенями рухливості і тимчасові інтервали між включеннями. В результаті можна

програмно змінити послідовність виходу в різні, але жорстко визначені точки простору. Значення переміщень (координат позицій) і швидкостей по ступенях рухливості налаштовують кожен раз при впровадженні робота в той чи інший технологічний процес. Переміщення по ступенях свободи налаштовують жорсткими упорами, а швидкості - відповідними регулюваннями систем живлення приводів. Такі промислові роботи використовуються для в основному при складанні деталей, завантажувально-розвантажувальних, транспортних та складських роботах, при цьому широко використовується пневмопривід.

Позиційна система управління роботом задає не тільки послідовність команд, а й положення всіх ланок промислового робота. Її використовують для забезпечення складних маніпуляцій з великою кількістю точок позиціонування. При цьому траєкторія інструменту між окремими точками 1 і 2 не контролюється і може відхилятися від прямої, що з'єднує ці точки. Однак завершення переміщення в точці 2 забезпечується з заданою точністю. На відміну від циклових роботів, позиційні забезпечують обслуговування значного числа дискретних позицій в робочому просторі. При цьому швидкості рухів між позиціями у таких автоматів або налаштовують при регулюванні приводу, або змінюють за програмою поступово.

Контурна система управління роботом задає рух у вигляді безперервної траєкторії, причому в кожен момент часу визначає не тільки положення ланок механізму, а й вектор швидкості руху інструменту. Тому рух інструменту по прямій лінії або по колу вимагає завдання всього двох крайніх точок в першому випадку і трьох точок у другому. Це дозволяє інтерполювати окремі ділянки траєкторії відрізками прямих і дугами окружності, що істотно скорочує час навчання робота. Ці роботи можуть виконувати програмні руху в просторі по будь-яким заданими траєкторіями. Контурна система управління складніше і дорожче позиційної [3].

Інтелектуальне керування – це метод керування, що використовує різноманітні підходи штучного інтелекту, такі як штучні нейронні мережі, нечітка логіка, машинне навчання, навчання з підкріпленням, генетичні алгоритми, еволюційні обчислення тощо. Даний вид систем керування здатний до навчання щодо об’єкта керування, збурень, зовнішнього середовища, умов роботи тощо. Основною відмінністю систем з інтелектуальним керуванням є наявність механізму системної обробки знань та можливість сприймати інформацію щодо навколишнього середовища. Головною особливістю таких систем є механізм отримання, обробки і зберігання знань. Ситуаційне керування і використання сучасних інформаційних систем – це два основні принципи, що лежать в основі створення інтелектуальних систем керування [4].

В технічних системах інтелектуальне керування повинно мати здібність до навчання, перенавчання та адаптації, бути стійким до несправностей і пошкоджень, мати user-friendly інтерфейс та бути із ним сумісним.

Інтелектуальне керування можна також розділити на підвиди: керування за допомогою нейронної мережі; керування за допомогою машинного навчання; навчання з підкріпленням; байесівське керування; нечітке керування; нейро-нечітке керування; експертні системи; генетичне керування тощо.

Із створенням нових моделей з інтелектуальною поведінкою і розробкою обчислювальних методів для їх підтримки створюються нові методи керування, що збільшують даний перелік [5].

ВИСНОВОК

Однією з важливих проблем в автоматизованому виробництві є забезпечення необхідної точності промислових роботів. Дана задача є комплексною, оскільки на точність впливає багато факторів, наявність яких не можна передбачити заздалегідь, тому є необхідність у розробці системи керування, що здатна до навчання в процесі роботи ПР.

Таким чином, для підвищення точності роботи промислового робота важливою є розробка системи інтелектуального керування, що сприйматиме інформацію з зовнішнього середовища та враховуватиме похибки, що виникають в процесі роботи. Наразі для керування ПР з інтелектуальних систем керування використовуються саме штучні нейронні мережі, оскільки вони є більш універсальними та майже завжди описують процес із необхідною точністю. Штучні нейронні мережі використовуються для вирішення задач практично в усіх галузях науки та техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Features of Industrial Robots [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.tu-chemnitz.de/phil/english/sections/linguist/independent/kursmaterialien/TechComm/acchtml/class_ex.html
[2] Robot Path Control [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.slideshare.net/ErPrabhakar1/robot-path-control
[3] Общая характеристика систем управления промышленных роботов [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://studme.org/125175/tehnika/obschaya_harakteristika_sistem_upravleniya_promyshlennyh_robotov
[4] Семенцов, Г.Н. Інтелектуальні системи керування технологічними процесами : навч. посіб. / Г.Н. Семенцов, Ю.Б. Головата – ІФНТУНГ, 2012 – 173с.
[5] Intelligent control [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_control

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

УДК 621.865.8

О.В. Чигрін, студент гр. ПБ-71, доц. Стельмах Н.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського.

РОЗРОБКА КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ МАНІПУЛЯТОРА БУДІВЕЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА

Анотація. Дана стаття присвячена розробці кінематичної схеми маніпулятора будівельного 3D принтера. В роботі наведено розрахунок швидкостей, переміщень та програмних прискорень трьох вузлів маніпулятора, що проектується та наведені відповідні графіки залежності чисельних значень від часу руху маніпулятора.
Ключові слова: маніпулятор, кінематична схема, робоча зона, ланка.

ВСТУП

На сьогоднішній день автоматизація процесів є основною метою як виробництва так і будь якого іншого виду діяльності що потребує випуску великих обсягів продукції. Автоматизація будівельних процесів відносно новий напрямок, що стрімко розвивається. Це обумовлено тим, що адитивні технології в будівництві суттєво здешевлюють роботи завдяки підвищенню продуктивності та заміни людської праці на машинну. Також слід зазначити, що будівельні матеріали, які використовуються під час будівництва споруд класичним способом більш забруднюють навколишне середовище, ніж при використанні 3D-технології друку будівель.

ВИБІР ТИПУ МАНІПУЛЯТОРУ

Оскільки головна функція маніпулятора це заміна фізичних функцій руки людини, то можна виділити три основні групи рухів маніпулятора: глобальні, регіональні та локальні. Глобальні рухи виконуються шляхом переміщення рухомої основи робота, у випадку стаціонарних роботів глобальні рухи відсутні. Регіональні рухи призначені, для переміщення виконуючої головки робота, у данному випадку сопла з екструдером, в діапазоні робочого простору. Локальні рухи виконує сопло, і вони призначені для орієнтації в зоні робочого простору. Метою данної роботи була розробка маніпулятора з великою робочою зоною, тому необхідно обрати кінематичну схему маніпулятора, що забезпечить функціонування в необхідному просторовому діапазоні. Було запропоновано кінематичну схему шарнірного маніпулятора [4] (рис.1), що має робочу зону у формі сфери, як найбільш оптимальну [1]. Що дозволило друк не тільки стандартних форм будівель, а й різноманітні архітектурні споруди більш складних конфігурацій.

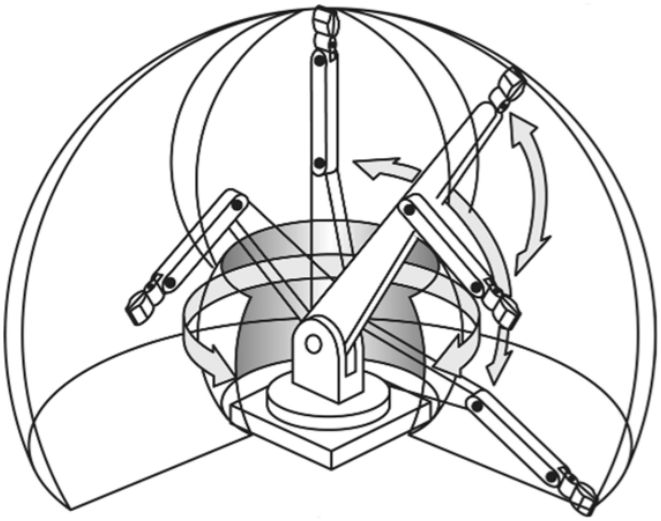


Рис.1 Маніпулятор шарнірного типу

АНАЛІЗ СХЕМИ МАНІПУЛЯТОРА

Маніпулятор складаєтсья з 3 виконавчих ланок, бази, екструдера та п'ятьох обертових кінематичних пар (рис.2).

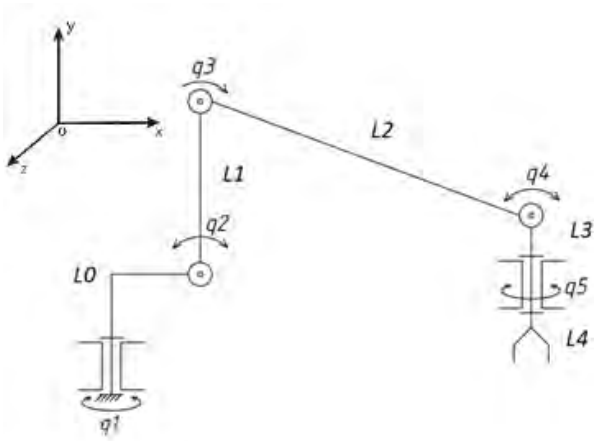


Рис.2 Кінематична схема маніпулятора

База (L_0) схематично зображена колінчатим стрижнем, що складається з горизонтального стрижня довжиною $L_{0.1} = 155мм.$ та вертикального довжиною $L_{0.2} = 217мм.$, обертовою кінематичною парою база рухомо пов'язана вертикальним стрижнем з нерухомою основою та з іншого кінця, горизонтальним стрижнем пов'язана обертовою кінематичною парою, вісь якої перпендикулярна до площини Z. База може обертатись відносно нерухомої основи. Кут повороту відображений через q1

Ланка 1 (L_1) схематично зображується вертикальним стрижнем довжиною $L_1 = 620мм.$ З обох сторін вона рухомо пов'язана обертовими кінематичними парами. Перша ланка може здійснювати обертові рухи q2 навколо кінематичної пари, що пов'язує Базу і Першу Ланку.

Ланка 2 (L_2) зображена на схемі стрижнем довжиною $L_2 = 730мм.$ під кутом до горизонтальної вісі. З правої і лівої сторони вона рухомо пов'язана з третьою і першою ланкою обертовими кінематичними парами. Відносно першої ланки друга ланка здійснює обертові рухи q3 навколо вісі Z.

Ланка 3 (L_3) зображена, як вертикальний стрижень довжиною $L_3 = 204мм.$, що рухомо закріплений з другою ланкою та обертовою кінематичною парою з 4 ланкою. Сегмент може здійснювати обертові рухи по вісі Z відносно другої ланки.

Остання ланка в кінематичній схемі черверта, $L_4 = 196мм.$ може здійснювати рухи навколо вісі Ланки 3 на кут повороту q5 завдяки обертовій кінематичній парі, якою вона з'єднана з попередньою ланкою. На кінці чертвертої ланки знаходиться жорстко закріплений екструдер.

ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНІВ СВОБОДИ

Маніпулятор має п'ять кінематичних пар V класу [2], кожна з яких має одну ступінь свободи. Це означає, що загальна кількість ступенів свободи маніпулятора відносно нерухомої основи дорівнює n=5.

РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КІНЕМАТИЧНИХ ПАР

Метою даного розрахунку[3] є визначеня переміщення кінематичних пар q2, q3 ,q4 у випадку, у якому маніпулятор знаходиться на кордоні свого робочого простору. З конструкції маніпулятора відомо, що граничний кут $q2_{max} = 150°$, оскільки виконуюча головка – сопло має бути завжди перпендикулярна до горизонту, а максимальне значення кута $q4_{max} = 125°$ можемо знайти значення

куту $q3 = 360°\text{-}\left((180°\text{-}q2_{max}) + q4_{max} + 90°\right) = 115°$. Розпочинати рух робот буде з нульової позиції, кути в якій: $q2_{start} = 50°$, $q3_{start} = 50°$, $q4_{start} = 90°$. Виконати переміщення маніпулятор має за $t_{руx} = 6с$. Програмний закон руху по кожній з координат характеризується синусоїдальним законом змінення програмного прискорення

$$\ddot{q_n}(t) = \varepsilon_n * \sin(\frac{2\pi}{t_{руx}} t); \quad (1)$$

де ε_s- амплітуда прискорення. Математичними перетвореннями можна знайти закони змінення програмних швидкостей (2) та переміщенн (3) :

$$\dot{q_n}(t) = \varepsilon_n * \frac{t_{руx}}{2\pi}(1\text{-}\cos(\frac{2\pi}{t_{руx}} * t)); \quad (2)$$

$$q_n(t) = q_{start} * \varepsilon_n * \frac{t_{руx}}{2\pi}(t\text{-}\frac{t_{руx}}{2\pi}\text{-}\sin(\frac{2\pi}{t_{руx}} * t)); \quad (3)$$

Для знаходження амплітуди прискорення було використано формулу (4):

$$\varepsilon_n = (q_{n_{start}}\text{-}q_{n_{max}})\frac{2\pi}{t_{руx}^2}; \quad (4)$$

Підставивши дані кутів та розбивши інтервал на відрізки з кроком 0,4с. отримали діапазон даних в табличному вигляді для кінематичної пари q2 «табл.1», пари q3 «табл.2» та q4 «табл.3»

$$\varepsilon_2 = 0.305с^{-2};\ \varepsilon_3 = 0.198\ с^{-2};\ \varepsilon_4 = 0.107\ с^{-2};$$

В момент часу $t = \frac{t_{руx}}{2}$ програмні швидкості набирають максимальні значення, тому для визначення максимальних швидкостей можна використати формулу (5):

$$(\dot{q_n})max = \varepsilon_n \frac{t_{руx}}{\pi}; \quad (5)$$

Підставивши дані отримаємо:

$$(\dot{q_2})max = 0.582рад/с;\quad (\dot{q_3})\ max = 0.378рад/с;\ (\dot{q_4})max = 0.204рад/с$$

Таблиця 1. Числові дані програмних прискорень, швидкостей та переміщенн другої кінематичної пари q2

t,c	***Приск.,рад/с***^{2}	***Швидк.,рад/с***	***Переміщ.рад***
0	0	0	0,873
0,8	0,226572	0,096324	0,899302
1,6	0,303356	0,321615	1,062334
3,2	-0,06291	0,576537	1,862906
4	-0,26381	0,437637	2,279418
4,8	-0,29031	0,20206	2,536727
5,6	-0,12488	0,025547	2,618842
6	-0,00097	1,48E-06	2,622294

Таблиця 2. Числові дані програмних прискорень, швидкостей та переміщенн третьої кінематичної пари q3

t,c	***Приск.,рад/с***^{2}	***Швидк.,рад/с***	***Переміщ.рад***
0	0	0	0,873
0,8	0,147086	0,062532	0,890075
1,6	0,196933	0,208786	0,995912
3,2	-0,04084	0,374277	1,515627

4	-0,17126	0,284106	1,786019
4,8	-0,18846	0,131173	1,953059
5,6	-0,08107	0,016584	2,006366
6	-0,00063	9,6E-07	2,008608

Використовуючи дані з отриманих таблиць було побудовано три графіки залежностей чисельних значень від часу руху маніпулятора для другої (рис.3), третьої (рис.4) та четвертої (рис.5) кінематичних пар.

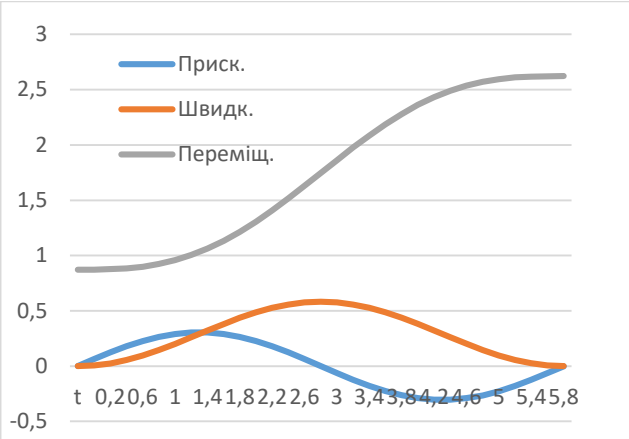


Рис.3 Графіки прискорення, швидкості та переміщення другої кінематичної пари

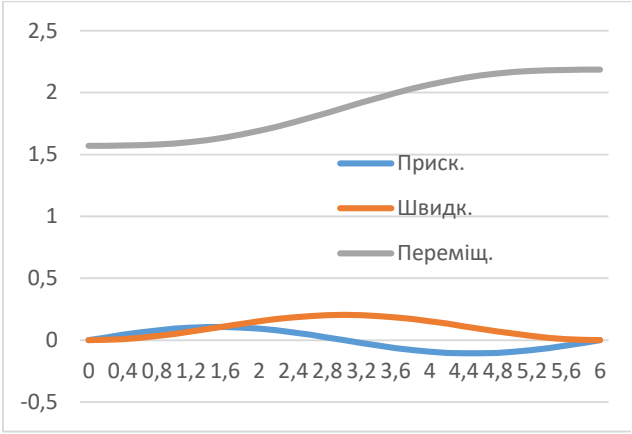


Рис.4 Графіки прискорення, швидкості та переміщення третьої кінематичної пари

ВИСНОВОК

В роботі було розглянуто один із важливих етапів проектування 3D принтера для будівництва, а саме розробку маніпулятора. Виконання кінематичного аналізу робочих ланок є обов'язковою процедурою , адже розробка кінематичної схеми дає повне уявлення про межі робочої зони маніпулятора та дозволяє вносити необхідні правки до конструкції 3D принтера для будівництва на етапі конструкторсько-технологічної підготовки. В подальшому результати розрахунків швидкостей допоможуть підібрати необхідні двигуни для кінематичних пар маніпулятора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Тимофеев Г.А..«Теория Механизмов и машин».Кінематичні схеми. Структура та технічні характеристики маніпуляторів: ВИД. Юрайт, 2018. — 351 с

[2] В.Б. Табарин «Конспект лекций по курсу ТММ» Лекція №2 : МГТУ 2001р. - 250с.

[3] Журавлев Ю.Н. Кинематическое и динамическое исследование промышленого робота. Кинематический анализ промышленого робота: ППИ 2008р.-121с.

[4] «Конспект Лекцій з Мехатроніки» Лекція №6 :ДНТУ 2007р-25с.

УДК 621.391

В.І. Юрковець, аспірант гр. ПБ-01ф, к.т.н., доц. Вислоух С.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

Анотація. Розроблено математичну модель руху деталей в процесі складання.. Наведено схему сил що впливають на деталь, що приєднується, при її взаємодії з базовою поверхнею. Описано динаміку руху деталі за координатами суміщення та відносної адаптації. Надана модель може бути корисна при аналізі надійності виробу складання.

Ключові слова: автоматизоване складання, математична модель, схема сил при складанні, відносна адаптація розташування деталей.

ВСТУП

В останні роки значно підвищились розробки теоретичних основ і практична реалізація способів і пристроїв автоматизованого складання. Однак невисокий рівень автоматизації складальних операцій свідчить про те, що на сьогодні залишається не вирішеними ряд питань, що мають велике наукове і практичне значення для складального виробництва. Однією з важливих проблем автоматизованого складання є відмови процесу складання через неякісно виготовлених деталі. Якщо ж кількість деталей у виробі велике, то процес складання часто затримується, що істотно знижує продуктивність автоматизованого складання [1]. Неякісно виготовлені деталі є однієї з основних причин (близько 80%) відмов складального обладнання. Відмови самого обладнання з причин його зносу і їх конструктивної недосконалості більш рідкісні.

Тому актуальним є розв’язання задачі, що спрямована на дослідження процесу руху деталей, що з'єднуються при автоматизованому складанні, а також виявленню неякісно виготовлених деталей.

Основою системного підходу до вирішення цієї складної задачі є математичне моделювання.

На підставі вищесказаного можна зробити висновок, що розробка математичної моделі, яка описує динаміку руху деталі за координатами суміщення і адаптації (відносної і кутової) в процесі автоматизованого складання [2], дозволяє забезпечити запобігання складання дефектних деталей в процесі її адаптації та підвищити продуктивність виробничого процесу. Для цього поставлені наступні задачі дослідження:

- побудувати схеми сил, що діють на приєднувану деталь при взаємодії з поверхнею базової деталі; .
- виконати аналіз параметрів схеми з метою дослідження параметрів, що впливають на надійність процесу складання;
- на основі аналізу схеми, розробити математичну модель, яка буде вказувати на те, що приєднувальна деталь не матиме фізичних відхилень від еталонних параметрів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Опишемо процес руху приєднувальної деталі при взаємодії з базовою деталлю. Схема сил, що діють на приєднувану деталь при контакті з поверхнею базової деталі, представлена на рис. 1. У початковий момент часу пристрою переміщення повідомили зміщення $q_з$. За допомогою адаптуючого пристрою[3] було перетворено в точці С силовий вплив $F_{дв}$, під дією якого приєднувальна деталь рухалася в напрямку до базової уздовж осі *z* аж до контактної межі з поверхнею.

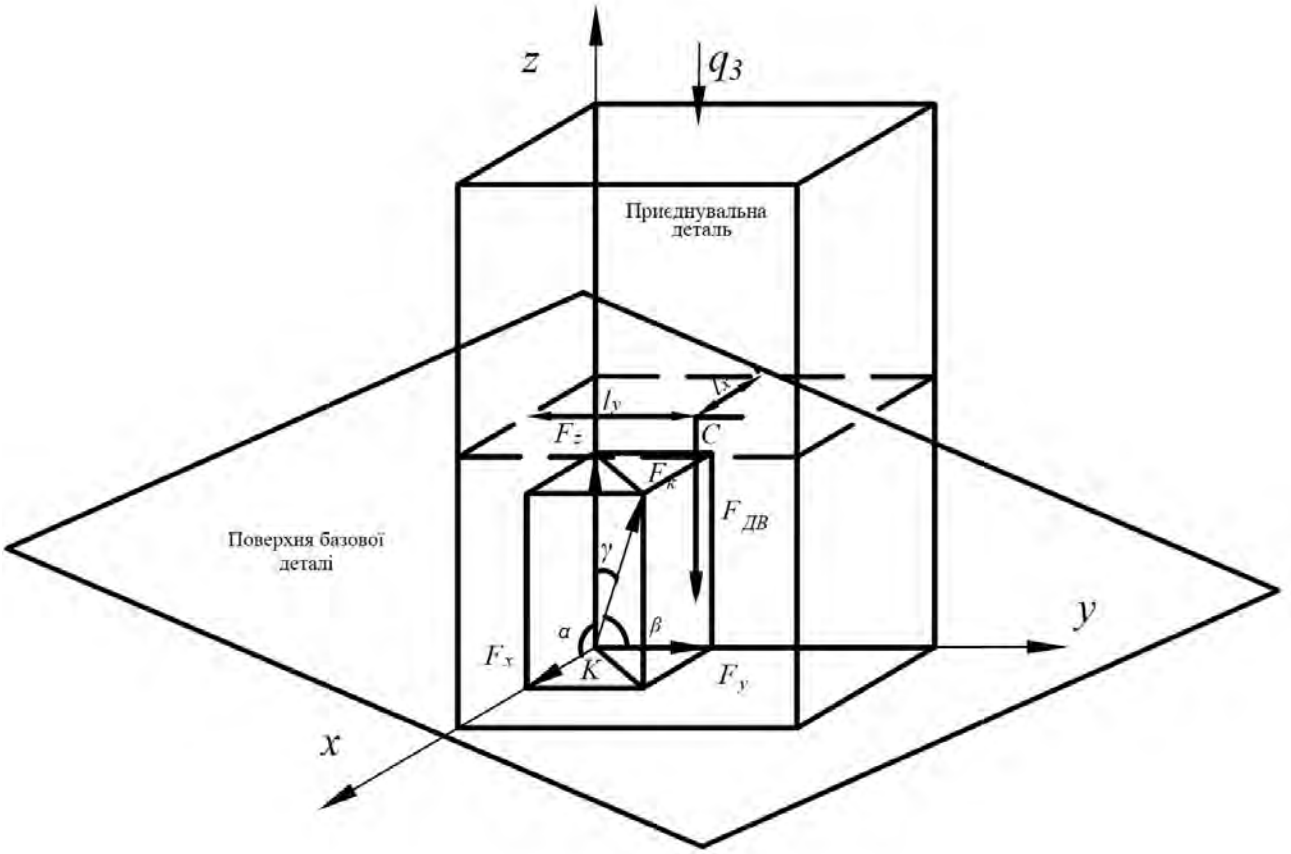


Рисунок 1. Схема сил, що діють на приєднувану деталь при контакті з поверхнею базової деталі

Розглянемо випадок, коли взаємодія деталей відбувається в точці *K*. При контакті виникає сила реакції F_k, що спрямована по нормалі до поверхні (нормаль орієнтована в системі координат *x y z* під кутами: α - до осі *x*, β - до осі *y*, γ - до осі *z*) базової деталі. У найпростішому випадку - це площина. Якщо площини не перпендикулярні у напрямку осі *z*, то реакція F_k буде мати проекції на осі: F_x, F_y, F_z. Складові сили F_k що спричинить виникнення лінійних зсувів за координатами *x* та *y*. Таким чином, з'являється можливість відносної адаптації положення деталі за координатами *x* і *y*.

На основі аналізу сил, що описують рух деталі за координатами зміщення, можна отримати відповідну математичну модель.

Тоді рівняння, що описує динаміку руху деталі по координаті *z*, має вигляд:

$$F_{дв} = m\ddot{z} + b_z\dot{z} + c_z z, \quad (1)$$

де m - маса приєднується деталі; b_z - коефіцієнт в'язкого тертя при переміщенні деталі по координаті z; c_z - коефіцієнт, що описує наведену жорсткість взаємодії приєднувальної і базової деталей по координаті суміщення z (див. рис.2) ($c_z = \frac{c_{dz} \cdot c_{bz}}{c_{dz} + c_{bz}}$, де c_{dz}, c_{bz} - жорсткість приєднувальної і базової деталей, до моменту торкання деталей $c_z = c_{dz}$); $F_{дв}$ - силова дія на деталь з боку пристрою переміщення, яке може бути представлено у вигляді суми пружних - $F_{пр}$ і дисипативних - $F_{дис}$ сил:

$$F_{дв} = c_{прив}\left(q_з - z\right) + b_{прив}\left(\dot{q} - \dot{z}\right), \tag{2}$$

Тоді, рівняння руху (1) приєднується деталі по координаті z представимо у вигляді:

$$m\ddot{z} + b_z\dot{z} + c_z z = c_{прив}\left(q_з - z\right) + b_{прив}\left(\dot{q} - \dot{z}\right), \tag{3}$$

де $q_з$ - задає переміщення приводу; $b_{прив}$ і $c_{прив}$ - коефіцієнти в'язкості і твердості відповідно для пристрою переміщення (приводу) приєднуваної деталі.

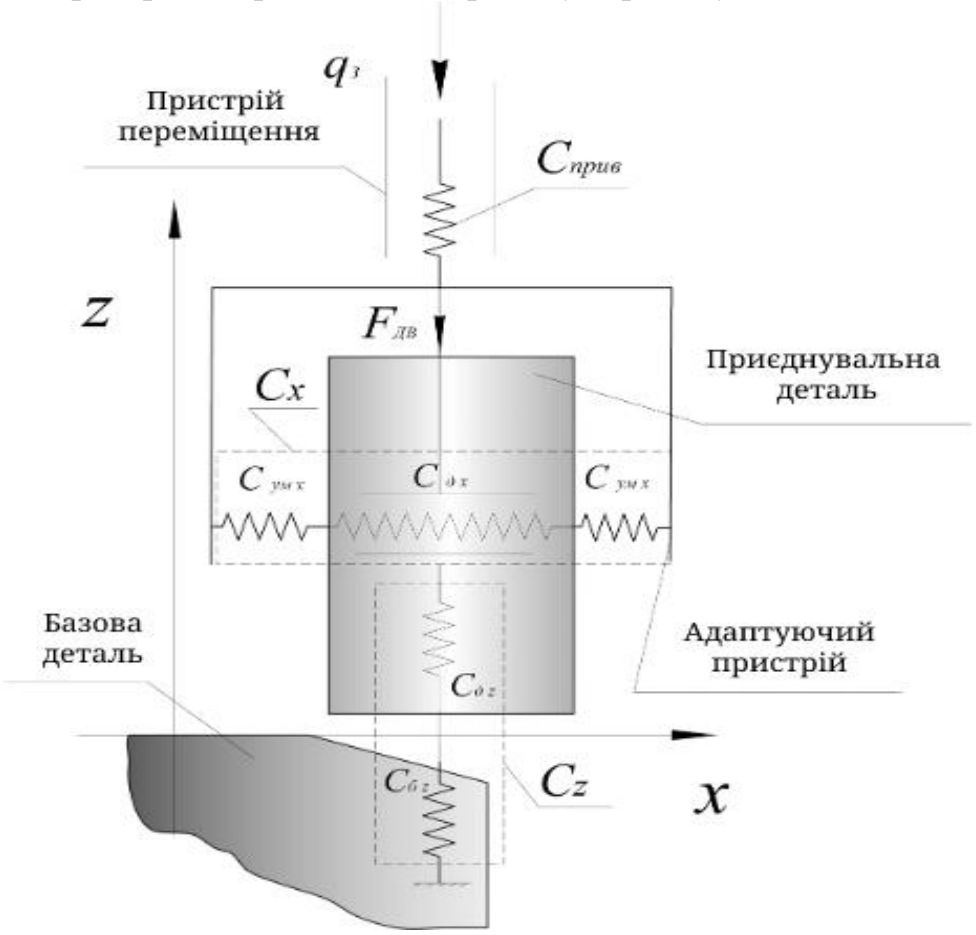


Рисунок 2 - До опису лінійних жорсткостей складального пристрою з урахуванням взаємодії приєднувальної і базової деталей

Представимо рівняння (3) в такому вигляді:

$$\ddot{z}+\frac{\left(b_z\dot{z}+b_{прив}\right)}{m}\dot{z}+\frac{\left(c_z z+c_{прив}\right)}{m}z=\frac{c_{прив}}{m}\dot{q}_з+\frac{b_{прив}}{m}q_з, \qquad (4)$$

Скористаємося способом математичного опису в змінних стану динаміки деталі по координаті *z* відповідно до методики [4].

Перейдемо від змінної z до змінних стану системи ($z=x_{11}$, $z=x_{12}$):

$$\begin{cases} \dot{x}_{11}=x_{12} \\ \dot{x}_{12}=-\dfrac{\left(b_z+b_{прив}\right)}{m}x_{12}-\dfrac{\left(c_z+c_{прив}\right)}{m}x_{11}+\dfrac{c_{прив}}{m}\dot{u}_1+\dfrac{b_{прив}}{m}u_1 \end{cases} \qquad (5)$$

Керування по координаті *z* є $u=q_з$ - задає переміщення.

Перетворимо рівняння (5) у векторно-матричній формі:

$$\begin{cases} \dot{x}_1=A_1x_1+B_1u_1 \\ y_1=C_1x_1+D_1u_1 \end{cases}, \quad x_1\left(t_0\right)=x_{01};$$

$$X_1=\begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \end{bmatrix}, A_1\left[-\frac{c_z+c_{прив}}{m}-\frac{b_z+b_{прив}}{m}\right], B_1=\begin{bmatrix} \dfrac{b_{прив}}{m} \\ \dfrac{c_{прив}}{m}-\dfrac{b_{прив}\left(b_z+b_{прив}\right)}{m^2} \end{bmatrix}, \qquad (6)$$

$$C_1=\begin{bmatrix}1 & 0\end{bmatrix}, D_1=\begin{bmatrix}0\end{bmatrix}$$

де A_1 – матриця підсистеми $q\rightarrow z$ розмірність 2×2; B_1 – матриця керування; C_1 – матриця виходу; D_1 – матриця прямого зв'язку, $\dot{x}_1=\dfrac{dx_1}{dt}$;

Надана модель (6) дозволяє виконати аналіз керованості системи складання (тобто можливість автоматичного режиму [4]), а також, якщо є дефектна деталь, то допомагає визначити рухомість системи і запобігти виникненню зупинки процесу складання а також проаналізувати надійність виробу.

ВИСНОВКИ

У статті приведено опис математичної моделі автоматизованого складання, що описує динаміку руху деталі під час з'єднання з базовою деталлю в процесі автоматизованого складання за допомогою методів адаптації[5]. Отримано структурна схема сил. Запропоновані моделі можуть бути корисні при дослідженнях за допомогою імітаційного моделювання процесів зміни координат адаптації та суміщення приєднувальної деталі відносно базової при

складанні. З їх використанням можна проводити оцінку впливу параметрів системи або початкових умов на точність, швидкодію, стійкість, керованість, ефективність а також допомагає визначити рухомість системи і запобігти виникненню зупинки процесу складання і проаналізувати надійність виробу. Перспективним напрямком використання розробленої моделі в змінних стану може бути синтез системи, що забезпечує необхідні характеристики процесу складання а також комп'ютерному моделюванні процесу складання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Симаков А.Л., Согласование этапов ориентации присоединяемой детали при движении по поисковой программной траектории совмещения / А.Л.Симаков, Д.А.Симаков //Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. – С. 20-22.

[2] Симаков А.Л., Кузнецова С.В., А.Н. Рожков. Показатели эффективности методов и средств автоматизированной сборки деталей. / Вестник Брянского государственно технического университета, – 2016. –С. 131-137.

[3] Симаков А.Л. Обоснование методов и средств адаптации соединяемых деталей на базе принципов автоматического управления и выявленных взаимосвязей при автоматизированной сборке: дисс….докт. техн. наук. Ковров, 2003. 373 с.

[4] Кузнецова С.В., Симаков А.Л. Анализ условий управляемости для систем автоматизированной сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2016. №3. – С. 7-15.

[5] Юрковець В.І., Вислоух С.П. Аналіз критеріїв ефективності методів і засобів автоматизованого складання виробів. / Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні ", 08-09 грудня 2020 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – С. 137-141.

УДК 681.625.8

В.А. Яригін, студент гр. ПБ-01мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ FDM 3D ДРУКУ

Анотація. В статті розглядаються питання виготовлення деталей шляхом 3D друку. Порівнюються різні види 3D друку та інші способи виготовлення деталей з пластмас. Висунуто гіпотезу про вплив мікроклімату на якість отриманих поверхонь. Поставлена задача створення спеціалізованої установки, згідно з гіпотезою, та проведення досліджень впливу мікрокліматичних умов на результат друку.
Ключові слова: 3D друк, 3D принтер, параметри якості деталей, мікрокліматична установка.

ВСТУП

Розвиток технології FDM 3D друку деталей перебуває на черговому піку своїх можливостей. Сучасні промислові та хобійні установки в підході до процесу друку мало чим відрізняються між собою (суттєві відмінності можна побачити лише в якості та точності виконання вузлів, розмірах зони друку, діапазонах налаштувань, кількості сопел, тощо.). Хоч за останні п'ять років дана технологія набула широкого розповсюдження, суттєвих змін та покращень процесу друкування деталей не відбулось [1]. Багато роботи дослідників та виробників даних установок було направлено на доведення конструкції установок до «ідеального» вигляду та викорінення «дитячих хвороб». Попутно з цим було досліджено сам процес друку, недоліки, що виникають в результаті не правильного вибору режимів й створено рекомендації та інструкції, що описують вплив режимів друку на результат [2]. При цьому результати FDM друку не можна назвати ідеальними, є необхідність допрацьовувати технологію.

ПОРІВНЯННЯ ДЕТАЛЕЙ ОТРИМАНИХ ЛИТТЯМ ТА FDM 3D ДРУКОМ

Зрозуміло, що при масовому або серійному виробництві порівнювати 3D друк та лиття пластмас не можна. При порівнянні виготовлених деталей обома способами можна бачити, що за критеріями міцності та чорнової якості (мається на увазі якість поверхонь заготовки/деталі, що отримана відразу після відливки або друку тобто до їх пост обробки) отриманих деталей або заготовок, вироби, що отриманні за допомогою лиття є кращим за обома показниками ніж вироби тієї ж конфігурації, отримані 3D друком. Проте водночас з цим якщо брати до уваги критерій вартості виготовлення малих партій або одиничних деталей, видно, що 3D друк більш перспективна та економічно вигідна технологія. Причини цього криються в фізичних особливостях процесу виготовлення. На рисунках 1 та 2 можна бачити відмінність в структурі поверхонь отриманих деталей. Варто зауважити що лінії котрі помітно на рисунку 2 – перехід між поверхнями різної висоти.

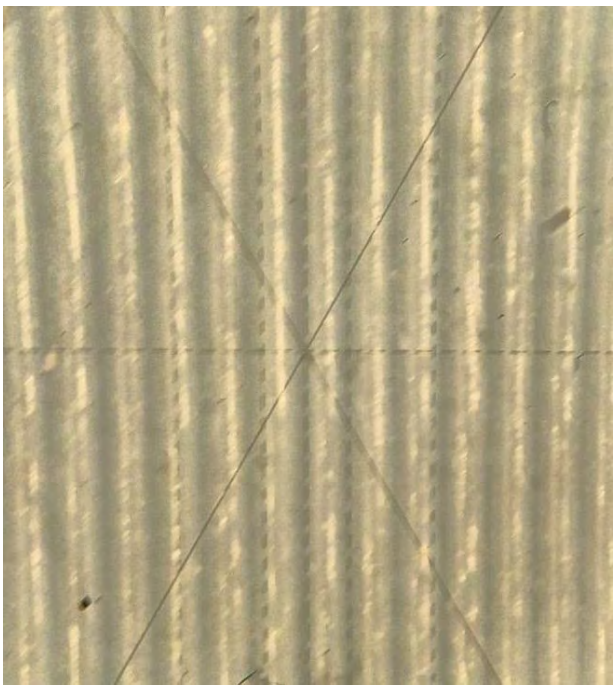


Рис. 1. Зображення бокової поверхня деталі отриманої 3D друком під мікроскопом

Рис. 2. Зображення поверхні деталі, що отриманої литтям пластмаси

З рисунків 1 та 2 помітно, що поверхня виготовлена 3D друком хвиляста, а отже шорсткість її буде висока. Водночас поверхня отримана литтям гладка, при цьому переходи між висотами плавні. Тобто можна зробити висновок, що якість поверхні отриманої литтям краща. Додатково до цього необхідно враховувати, що деталь яка виготовлена литтям апріорно більш міцна ніж деталь, виготовлена пошаровим нанесенням матеріалу. З фізичної точки зору це обумовлено тим що процес кристалізації пластику при виготовленні литтям відбувається рівномірно в об’ємі отриманої деталі, тоді як при пошаровому нанесенні матеріалу навпаки, перед нанесенням нового шару попередній має достатньо охолонути та затвердіти. В такому випадку адгезія між шарами деталі є відносно невелика, й це зменшує її міцність. Також варто враховувати що різні поверхні деталі отриманої за допомогою 3D друку матимуть різну якість, так поверхні, що є паралельними до площини XOY будуть менш шорсткі, що видно на рисунку 3.

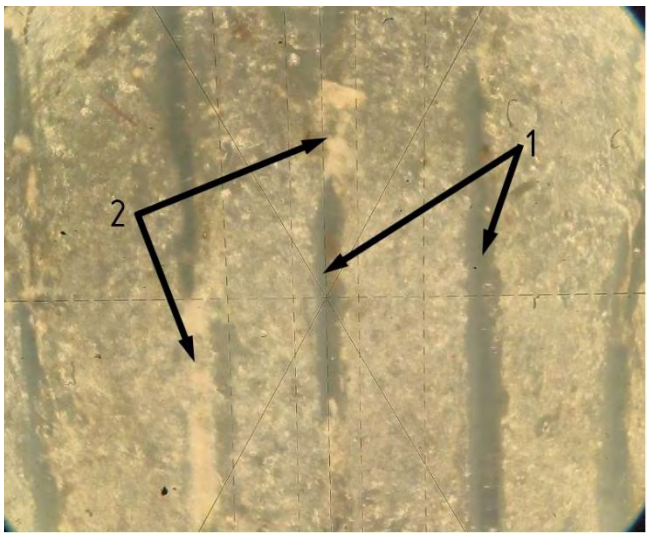


Рис. 3. Зображення поверхні деталі, що паралельна до площини друку

На рисунку 3, позиція 1 позначає зазори між нитками пластику, позиція 2 – місця де нитки сплавились. Можна бачити, що нитки пластику в деяких місцях сплавились одна з одною. Також на поверхнях малих розмірів можна спостерігати повне сплавлення ниток, що позитивно впливає на якість поверхні знижуючи її шорсткість. В результаті якими б оптимальними не були режими друку, повністю позбавитись цього ефекту не можливо. Що ж робити коли необхідно виготовити малу партію деталей високої якості.

ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ

Звісно різні технології 3D друку дозволяють отримувати різні за якістю поверхні, в деяких випадках ефект «шаруватості» буде досить не значним, як зображено на рисунку 4, де зліва зображений SLA друк, справа – FDM.

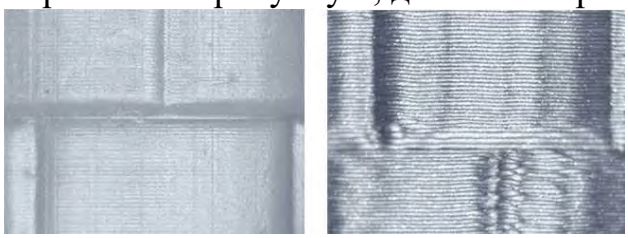


Рис. 4. Порівняльні зображення SLA та FDM друку

Звідси випливає перший варіант покращення якості – змінити тип установки. Дане рішення на перший погляд повністю вирішує проблему, але SLA друк використовує за матеріал рідкі смоли, установки такого типу коштують набагато дорожче ніж аналогічні за зоною друку FDM варіанти. Якщо більш детально розглянути процес друку виявиться, що основними параметрами які впливають на якість деталі є температура друку, швидкість друку, товщина поверхневого шару [1-3]. В даному випадку швидкість та товщина поверхневого шару мало впливають на якість поверхні. Більше всього впливає температура друку, проте при певному перевищенні норми, цей параметр навпаки погіршує результат [3]. В дослідженні [3] було визначено, що підбір оптимальних режимів друку не є достатнім для покращення якості поверхонь. Ефект розшарування виникає через швидке застигання пластику, коли вже покладений шар (нитка) встигають достатньо кристалізуватись, при цьому покладення нового шару з гарячим пластиком не дозволяє достатньо нагріти попередній шар для підвищення адгезії. Також при підготовці та виконанню експериментів в роботі 3, було помічено, що зміни кліматичних параметрів (зміна температури, утворення протягів) середовища лабораторії впливають на результат. Додатково не рівномірне охолодження заготовки в процесі друку, призводить до деформації форми, що особливо помітно на великих пласких деталях. Таким чином було висунуто гіпотезу про

вплив мікроклімату на якість поверхонь, що отримані за допомогою 3D друку. Для дослідження даної гіпотези необхідно створити установку, що враховує ці особливості. По-перше необхідно заключити раму, що охоплює зону друку принтера в корпус, який не допускатиме протягів. По-друге принтер необхідно обладнати додатковими тремо-датчиками, що будуть контролювати температуру по-за зоною друку в доступному об'ємі друку. По-третє необхідно обладнати принтер додатковими нагрівачами, та вентиляційною системою, для нагрівання всього об'єму деталі. По-четверте оснастити установку мікроконтролерною системою, що зчитуватиме покази датчиків, керуватиме нагрівом та охолодженням всього об'єму.

Після створення та виконання відповідної модернізації FDM 3D принтера доцільно провести дослідження даної установки, для визначення чи гіпотеза є вірною, та для дослідження оптимальних режимів роботи такої системи. Така модернізація повинна покращити якість деталей, виготовлених пошаровим наплавленням.

ВИСНОВКИ

Існуючі методи виготовлення малих партій деталей із пластмас в порівнянні з промисловими технологіями (що направлені на масовий тех. процес) не ідеальні, а отже необхідно рухатись в сторону їх покращення. Висунуто гіпотезу про вплив мікроклімату на якість отриманих 3D друком поверхонь В майбутніх роботах доцільно створити установку, для перевірки цієї гіпотези та провести її дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Новаковский А.Г., Антонюк В.С. Анализ современных технологических подходов к аддитивному производству // Республиканский межотраслевой производственно практ. журнал. - Минск – № 3(72) – 2016.– С. 11 – 12.

[2] Чонка Е.Я. Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3d-принтері / Е. Я Чонка, В.С. Антонюк // Збірник праць XV Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» 10-11 грудня 2019 року – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. – С. 197-200.

[3] Яригін В.А. Дослідження параметрів якості деталей, отриманих шляхом 3d друку / В.А Яригін., С.П Вислоух // Збірник тез всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 11-15 травня 2020 року м.Житомир , – К.:Державний університет «Житомирська політехніка» – С. 125 – 126.

[4] Е. Я. Чонка, О. Г. Новаковський, і В. В. Сєров. 2019. «Дослідження якості поверхні при виготовленні моделей на 3D-принтері». Процеси механічної обробки, верстати та інструмент: збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції, 6–9 лист. 2019 р. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 201-202.

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

Секція 4.

Прилади систем автоматизації

УДК 681.8

М.С. Бондар, студент гр. ПМ-71, к.т.н., доц. Нечай С.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЛАЗЕРНИЙ МІКРОФОН

Анотація. У даній статті розглядаються основні принципи роботи лазерного мікрофона. Метою цієї роботи є можливості покращення якості звучання у порівнянні із вже існуючими мікрофонами для медіа шляхом створення оптичного мікрофона. Розглянута ефективність застосування оптичного методу для підвищення точності та якості зчитування звукового сигналу. Також на меті є зменшення розміру конструкції мікрофона та полегшення рухомих частин завдяки відмові від котушок.
Ключові слова: медіа, лазерний мікрофон, оптичний мікрофон, лазерні акустичні системи

ВСТУП

Як уже відомо, лазерні мікрофони широко використовуються для прослуховування, тому що за допомогою лазера можна знімати звук з відбиваючих поверхонь (скла, мембран та ін.) на відстані до 1000 м.

Лазерний мікрофон отримує вплив від зміни координати поверхні, з якої знімається інформація, то його можна застосувати, наприклад, для детектування сейсмічної активності в земній корі. Другим варіантом можливого застосування даного виду зв'язку є детектування пульсу, дихання у людини, за умови, що до його тіла буде прикріплена відбиваюча поверхня. Перевагами таких систем є швидкість передачі і можливістю віддаленого доступу від місця збору інформації [1].

В розрахунку на вище перераховане, можна виділити високу точність зчитування звукового сигналу та чутливість до найменших коливань відбиваючої поверхні. Що підходить для поставленої мети.

ОГЛЯД НА ВЖЕ ІСНУЮЧІ ЛАЗЕРНІ АКУСТИЧНІ СИСТЕМИ

Існує декілька схем побудови лазерних акустичних систем. На рис. 1 приведений найпростіший варіант. Промінь лазера падає на скло або іншу відбиваючу поверхню під кутом. Коли лазер проходить границю скло-повітря промінь починає моделюватися звуковими коливаннями. Відбитий промінь прямує до детектора, який знаходиться на осі вже відбитого променя, відбувається амплітудна демодуляція. Така система проста, але застосовується дуже рідко, через необхідність ретельного юстирування [2, 3].

Враховуючи цей недолік, можна сказати, що використання такого варіанту буде недоцільним через велику кількість похибок, пов’язаних з розташуванням детектора. Відбитий лазерний пучок буде постійно змінювати свій кут через вібрації відбиваючої поверхні, скло буде змінювати своє положення у просторі, хоч і не істотно. Як наслідок, потрібно буде збільшувати приймаючу площину детектора, збільшуючи розміри приладу, чого хотілося би уникнути.

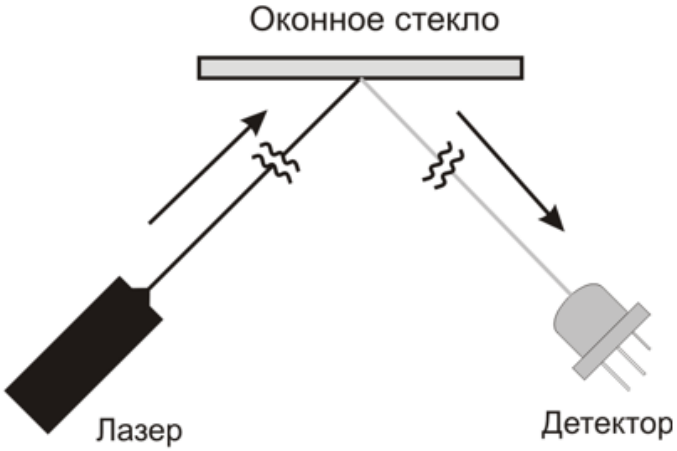


Рис. 1. Найпростіший варіант побудови лазерної акустичної системи

Наступним варіантом буде система, яка використовує дільник пучка випромінювання, такий спосіб дозволяє об'єднати промінь від лазера та детектор, що проілюстровано на рис. 2, що надає змогу звести падаючий та відбитий промінь.

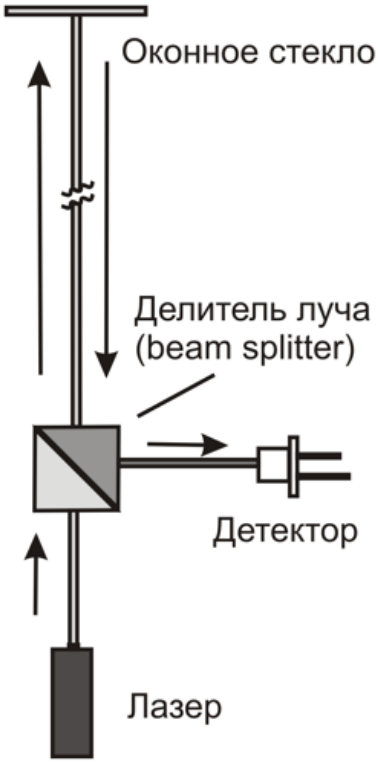


Рис. 2. Варіант побудови лазерної акустичної системи із дільником пучка випромінювання

В рамках підвищення чутливості можна використовувати інтерферометр, його схема представлена на рис. 3. Даний інтерферометр має плечі однакової довжини, який називається "DualBeam LASER Mic". Головний принцип цієї схеми - диференційний метод вимірювання акустичної вібрації. Ділянка віконного скла, з якого знімається вібрація, має малий розмір, отже, різко послаблюється синфазна перешкода, яка викликається низькочастотними коливаннями скла [2, 3].

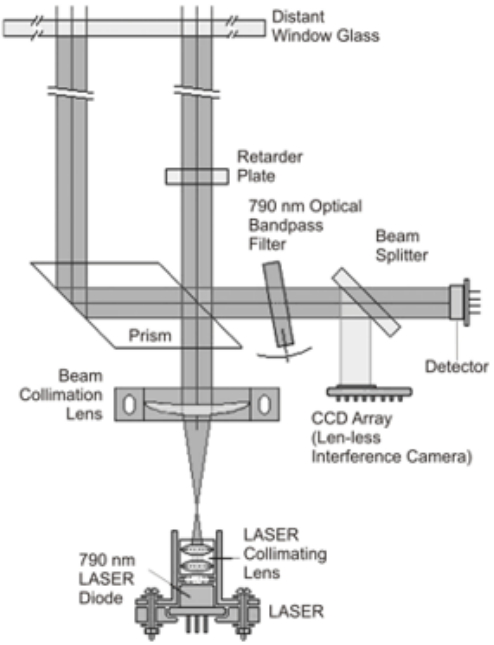


Рис. 3. Інтерференційна схема побудови лазерної акустичної системи

На основі другого варіанту плануються подальші дослідження, буде розглянута можливість створити прилад з оптимальною ергономічністю та невеликими похибками. Також для підвищення чутливості можна розглядати варіант з інтерферометром.

ВИСНОВОК

У цій статті було розглянуто два варіанти побудови лазерної системи реєстрації звуку. Другий варіант виявився більш відповідним до поставлених вимог, через меншу кількість можливих похибок та можливість розташувати таку конструкцію у невеликому корпусі. Також було підтверджено високу точність та чутливість таких мікрофонів. Буде доцільним використовувати ці технології з метою створення високоякісного оптичного мікрофону для застосування у медіа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Мустафаев Р.А. Расчет и моделирование лазерного микрофона. – Воронежский государственный технический университет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://web.snauka.ru/issues/2016/04/65941

[2] Хорев А.А. Средства акустической разведки: направленные микрофоны и лазерные акустические системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rfanat.qrz.ru/s17/spy_napr-mic.html

[3] BSWA Technology: product Catalogue. − China, BSWA Technology Co., Ltd, 2008. – 29 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.bswa-tech.com

Наук. керівник – к.т.н., доц. Нечай С.О.

УДК 681.325.5

Є.О. Канівець, студент гр. ПМ-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПОЛИВУ КІМНАТНИХ РОСЛИН

Анотація. У даній роботі розглядаються основні принципи роботи автоматизованої системи поливу кімнатних рослин. Метою цієї роботи є вивчення роботи автоматизованої поливу кімнатних рослин та можливість її удосконалення.

Ключові слова: полив, автополив, кімнатні рослини, вазон

ВСТУП

Ми не помічаємо наскільки важливу роль в нашому житті відіграють рослини. І за ними потрібний правильний догляд, адже вони створюють те, без чого, ми люди, не змогли б прожити. Велика кількість людей мають дома кімнатні рослини (квіти, кактуси і т. д.) і дуже важливо вчасно їх поливати. Іноді ми забуваємо це зробити або не маємо можливості, поїхавши в командировку чи на відпочинок. Саме цьому присвячена розробка автоматичного поливання кімнатних рослин. Ця розробка буде корисна для тих хто рідко буває дома.

ОГЛЯД НА ВЖЕ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПОЛИВУ

Існує дуже багато способів автополиву рослин (вазоні), які дозволяють без участі людини підтримувати необхідний рівень грунту. Кожен з цих способів має свої особливості і правила експлуатації.

Системи штучного поливу грунту діляться на наступні групи:

- автоматичні – кількість, частота та час поливів встановлюється за графіком закледеним у програмі (рис.1);

Рисунок 1. Варіант автоматичного поливу вазонів

- ручні – увімкненням/вимкненням та тривалістю поливу керує людина;
- комбіновані - автоматичний полив може здійснюватися програмно (автоматично) так і людиною.

Розглянемо можливість побудови такої системи, додатковою опцією цієї системи є можливість контролювати та керувати нею через Internet.

ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ:

- Контролер – «мозок» системи – керує системою;
- Датчик для вимірювання вологості грунту (рис. 1);
- Ультразвуковий датчик - буде використовуватись для того щоб дізнатись рівень води в резервуарі (рис. 2);
- Помпа – мініатюрний насос води для подачі води до вазонів (рис. 3);
- Трубки – по ним передається вода від помпи до вазонів;
- Реле для керування помпою;
- Модуль Wi-Fi для керування та програмування контролера через інтернет.

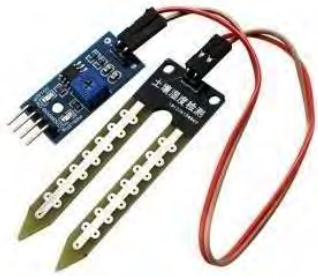


Рисунок 1. Датчик вимірювання вологості грунту

Рисунок 2. Ультразвуковий датчик

Рисунок 3. Помпа

Прототип такої системи був зібраний та побудований на платі arduino nano (рис. 4).

Рисунок 4. «Мозок» пристрою у зібраному стані

ПРИНЦИП РОБОТИ СИСТЕМИ

Система підключається через модуль Wi-Fi до інтернету. Після чого за допомогою логіна і пароля ми зможемо потрапити на сайт з якого можна керувати пристроєм і зробити всі потрібні налаштування для правильної і функціонально роботи пристрою.

На цей сайт можна заходити із смартфону тому буде дуже зручно спостерігати за роботою маючи з собою тільки телефон.

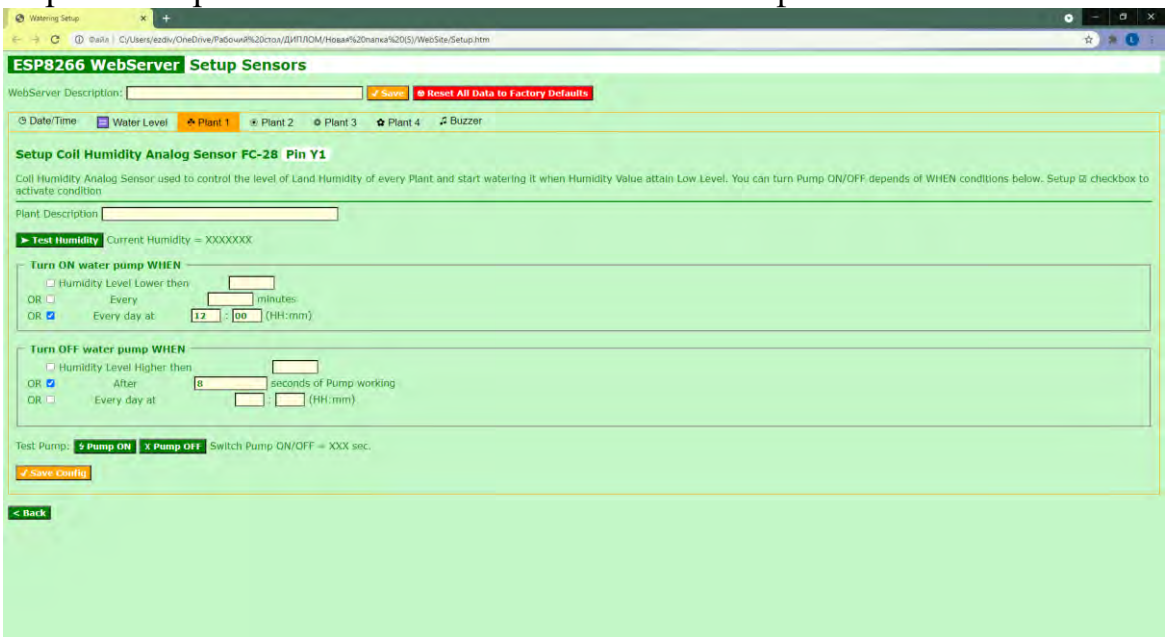


Рисунок 5. Сайт для налаштування пристрою

Принцип дії такої системи

Ми вимірюємо вологість грунту за допомогою датчика і коли значення падає нище потрібної норми то контролер подає сигнал на реле що вмикає помпу і вода з резервуару через маленькі шланги потрапляє до рослини. Час роботи помпи, а відповідно об'єм води, що качається помпою у вазон задається попередньо в ручну на сайті.

Ця розробка має гарні перспективи та великий функціонал і можна в налаштуваннях вибрати можливість поливати кожного дня вибраний для цього час. Також через сайт можна відслідковувати кількість води який знаходиться в резервуарі за допомогою ультразвукового датчика.

ВИСНОВОК

У цій роботі було розглянуто варіант побудови автоматизованої системи поливу кімнатних рослин. Така система керується через Wi-Fi. У перспективі необхідно щоб такі системи могли поливати кожен вазон чи групу вазонів по окремій програмі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Програмування Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://arduino.ru/

[2] Ультразвуковий датчик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/

[3] Датчик вологості [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arduino.ua/prod185-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht11

Наук. керівник – д.т.н., доц., в.о.зав. каф. ПБ Киричук Ю.В.

УДК 679

Д.В. Клименко, студент гр. ПМ-71, к.т.н., доц. С.О. Нечай
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СОРТУВАННЯ СМІТТЯ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИМ МЕТОДОМ

Анотація.Метою статті є огляд сучасної технології автоматизації сортування побутових відходів. Їх переваги, а також необхідність впровадження автоматизованого сортування.
Ключові слова: спектр, оптико-механічне сортування, пневмомодулі.

ВСТУП

Ні для кого не секрет, що в наш час проблема екологічного забруднення потребує стрімкого вирішення. За статистикою одна людина на протязі доби створює 3-5 літрів сміття, що в місяць становить близько 120 літрів і 15000 літрів за рік. В масштабах всього людства виходять колосальні числа. За останнє століття людство досягло значних результатів в науковій сфері. В тому числі і хімії. З'явилися матеріали, такі як пластик, які в природі розкладаються від 100 років. Для їхньої утилізації застосовуються спеціальні технології. Але перед цим необхідно відсортувати їх. В основному цим займаються люди – сортувальники. Ця робота доволі примітивна і монотонна, а також негативно впливає на здоров'я робітників. Тому актуальною є автоматизація цього процесу. [1]

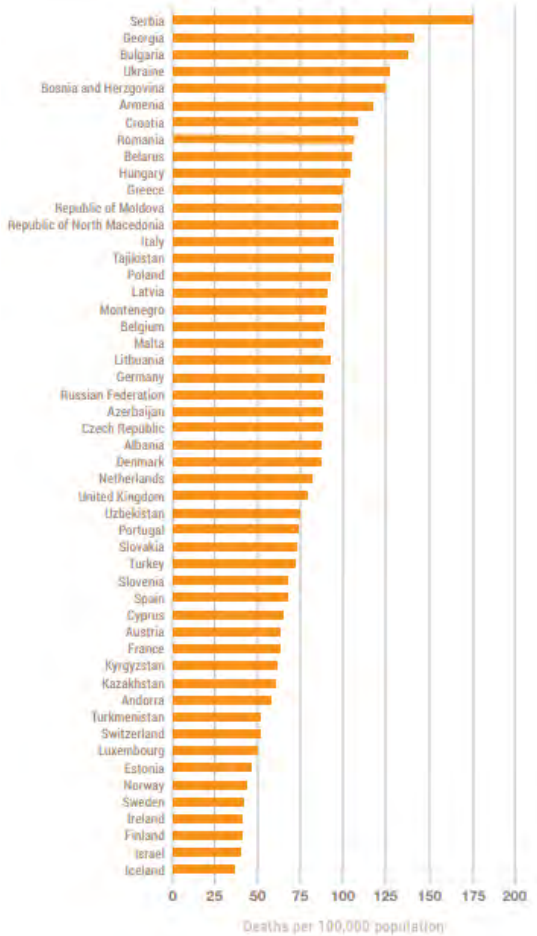


Рис. 1. Статистика смертності GAHP (Global Allliance on Health and Pollution) в результаті забруднення навколишнього середовища 2019 р.[3]

ОГЛЯД ПРИНЦИПУ ОПТИКО-МЕХАНІЧНОГО СОРТУВАННЯ

Яскравим прикладом цього методу є технологічні лінії німецької компанії TitechGmbH.

Рис. 2. Сортувальна машина TitechGmbH.

На початку процесу сміття для сортування рівномірно надходить до області сенсорів по транспортеру. Сама технологія базується на опроміненні матеріалів світлом з довгою хвилею, що відповідає видимому спектру (датчик VIS), або світлом з довгою хвилею в інфрачервоному діапазоні (датчик NIR). Саме порівняння спектру, що відбився від поверхні матеріалів, зі спектрами в базі даних програми, і є принципом роботи оптико-механічного сортування. В кінці лінії знаходяться пневмомодулі. Після ідентифікації сортувальних компонентів відкриваються відповідні дюзи і ідентифіковані матеріали відсіюються з допомогою стиснутого повітря.

Якщо вектор сили стиснутого повітря буде проходити не точно відносно центра мас об’єкта, то цей об’єкт не отримає достатньої кількості кінетичної енергії поступального руху. Це відобразиться на чистоті сортування. Особливістю технології Titech є висока щільність сканування поверхності конвеєра з матеріалом. Це дозволяє визначити площу і матеріал об’єкта. Ширина робочої зони сканування однієї машини Titech в залежності від типорозміру становить від 600 до 2800 мм, забезпечуючи продуктивність від 14 до 130 т / год. Загальна продуктивність лінії залежить від прийнятого компонування обладнання і зазвичай обмежується швидкістю подачі конвеєрів. [2]

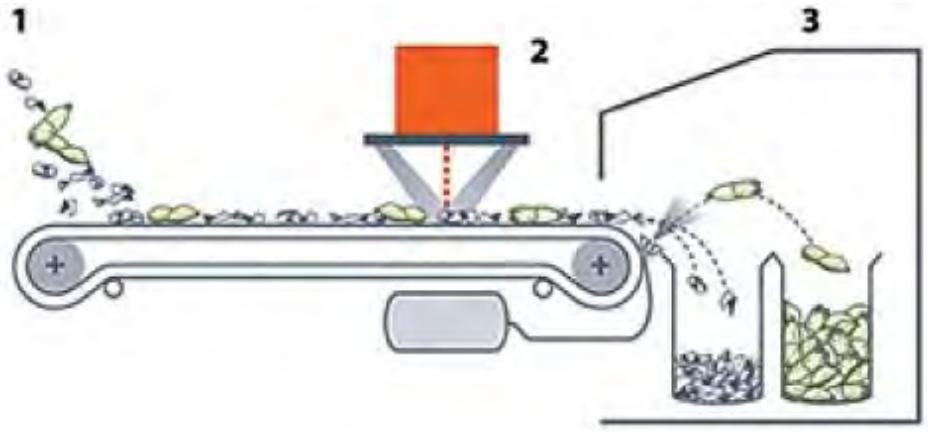


Рис.3. Принцип роботи лінії оптико-механічного сортування (1 – надходження сміття; 2 – область сенсорів; 3 – пневмомодулі)

Порівняння ефективності автоматичного і ручного сортування для різних матеріалівпоказує найбільшу перевагу автоматичного методу для обробки паперу та скла. Досягається продуктивність 11000 – 12000 кг за годину. Дещо складніше відбувається сортування різних пластиків, продуктивність 3000 – 7000 кг за годину. Машина може замінити роботу 20 – 60 робітників.

Зустрічаються системи автоматизованого сортування відходів, в роботі яких процес починається з дроблення змішаного сміття на малі фракції за допомогою шредерів для утворення близьких за розміром часток. Таким чином спрощуються подальші автоматизовані процеси. Але подрібнення певних видів відходів, особливо небезпечних (елементи живлення, лампи, термометри), призводить до вивільнення шкідливих речовин і поширення забруднення їми. Крім того, руйнація цілісного шматка матеріалу, змішування з частками інших матеріалів, а потім подальше відсортовування виглядає як зайвий процес із втратою енергії і погіршенням чистоти первинного матеріалу.

ВИСНОВКИ

Огляд оптико-механічної установки для сортування сміття ілюструєїї безумовну перевагу над ручним сортуванням. Збільшивши об’єм сортування сміття, можна покращити рівень здоров’я працівників шляхом заміни людей на автоматизовані установки, які не відчуватимуть пагубного впливу цієї роботи, а також зменшити кількість сміття, що очікує переробки, тим самим зменшити забрудненість середовища.

При проектуванні автоматизованих систем сортування відходів актуальним є етап первинного сортування до етапу подрібнення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Умный робот для сортировки и сбора мусора. Режим доступу: http://robotforum.ru/novosti-texnogologij/robotizirovannaya-texnologiya-sortirovki-musora.html

[2] Оптико-механічна сортування відходів: перспективи використання. Режим доступу: https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=260

[3] Pollutions and health metrics. Режим доступу: https://gahp.net/wp-content/uploads/2019/12/PollutionandHealthMetrics-final-12_18_2019.pdf

Науковий керівник – к.т.н., доц. Нечай С.О.

УДК 621.325.5

М. Д. Лисенко, студент гр. ПМ-п81, к.т.н., доцент, Андрєєва О. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТЕМПЕРАТУРНІ ВИМІРЮВАННЯ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

Анотація. В роботі розглянуті питання реалізації заданих температурних режимів для підтримки комфортних умов існування у Розумному будинку.

***Ключові слова*:** кліматичний контроль, датчики температури, Розумний будинок, безпровідний зв'язок, інтерфейси, GSM-модулі.

ВСТУП

Розумний будинок – це сукупність підключених до спільної мережі приборів і пристроїв, що повинні виконувати певні функції з мінімальною участю людини. Реалізація функцій Розумного будинку тісно пов'язана з розвитком комп'ютерних технологій, мікроелектроніки, систем дротового та бездротового зв'язку з інтелектуальними датчиками.

Оскільки система Розумного будинку не має чітких обмежень у вартості і стандартизації, то вона може бути індивідуальною для кожного користувача (наприклад, власника приміського будинку).

МЕТА РОБОТИ

Метою дослідження є створення одного з можливих сучасних варіантів власної системи «клімат-контроль» у приміському будинку, яка призначена забезпечити функції контролю датчиків температури і вологості для підтримки заданого стану комфортного існування.

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ВЛАСНОЇ СИСТЕМИ «КЛІМАТ-КОНТРОЛЬ»

До переваг можна віднести зручність у використанні, здатність керувати системою в будь якій частині будинку. Також безперечним плюсом для сучасного існування у власному будинку являється економія ресурсів, яка призводить до зменшення плати. Також вагомим плюсом являється контроль та відстеження поточної температури, налаштування на параметри за раніше заданою програмою.

Система розумного будинку забезпечує злагоджену роботу всіх приладів кліматичного контролю, контролюючи «режим сну» в разі відсутності людей в будинку, або працювати за певними умовами (наприклад, «день», «ніч», «зима» тощо).

Система кліматичного контролю відстежує також кілька параметрів для коректної роботи:

- час доби;
- рівень вологості;
- температуру повітря;
- день тижня.

Основними вимогами до системи кліматичного контролю сьогодні є забезпечення якості та точності контролю кліматичних умов будинку за

допомогою сучасних температурних датчиків. Датчики температури і вологості – невід'ємна частина для кліматичного контролю в будинку, що забезпечує здатність відстежувати температуру та вологість у певний проміжок часу.

ВИБІР ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ

Датчики температури у Розумному будинку зазвичай розподіляють на провідні та безпровідні.

Провідні датчики - не мають вбудованого модуля або чіпу контролю (наприклад, Z-Wave чіп), які підключаються до термостатів і реле через спеціальний роз'єм. Такі датчики можна підключити до Fibaro Smart Implant. Слід також відмітити, що провідні датчики мають більш коротку періодичність відправлення інформації, але наявність самих датчиків необхідно передбачати ще на стадії прокладання проводів (на відміну від бездротового варіанта).

За призначенням провідні датчики температури бувають зовнішнього застосування або внутрішнього. Датчики для зовнішнього застосування мають захисний корпус, їх можна встановити на вулиці для контролю температури повітря або вмонтувати в стяжку теплої підлоги.

Бездротові датчики температури для системи розумного будинку легко монтувати за допомогою шурупа або двосторонньої липкої стрічки. Живлення відбувається за рахунок батарейки, якої вистачає на 1-1.5 року. Датчики температури необхідно вибирати, враховуючи їх місце установки, наприклад: кімната, вулиця або тепла підлога.

Для надійної роботи системи теплозабезпечення краще поєднувати два варіанта для сумісної роботи - провідний і безпровідний, тобто запроваджувати, так званий, комплексний підхід для постійного порівнювання інформації від різних датчиків і підтвердження достовірності параметрів, що вимірюються.

Цікаві рішення по вибору компонентів Розумного будинку, у тому числі і для температурних вимірювань, пропонують багато фірм – розробників обладнання Розумного будинку. Світовими лідерами сьогодні вважають компанії: Apple, Samsung, Amazon, Telit, Nest. Слід відмітити, що IT-гіганти США пропонують власні рішення практично для всіх проблем цифрового будинку. Крім того, Google теж має намір втілювати свої гаджети у Розумні будинки.

Серед відомих технологій, які активно розвиваються і втілюються у життя, найбільш привабливою сьогодні виглядає технологія Z-Wave. Переваги для Розумного будинку вже оцінили Європейські країни. Приваблює бездротовий протокол зв'язку системи автоматизації будинку, розроблений для дистанційного керування.

Технологія Z-Wave: з'явилась пізніше інших і на відміну використовує безпечні для людей малопотужні радіохвилі.

Пристрої Z-Wave являють собою малопотужні мініатюрні модулі. Встановлення їх не потребує порушення інтер'єру. Дистанційне керування пристроями і низьке енергоспоживання приваблює власників сучасних помешкань.

Працюють у діапазоні частот до 1 ГГц (на відміну від популярного 2,4 ГГц).

Вигідно використовувати для передавання простих команд керування.

Радіочіпи для пристроїв поставляють компанії: Sigma Designs та Mitsumi.

Аналіз розробок показує, що найбільш прийнятними для власної системи можна вважати вимірювальні мікросистеми з технологією Z-Wave.

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ Z-WAVE

Розумний датчик температури і вологості Z-Wave відправляє показники температури в градусах за Цельсієм і вологість у відсотках на центральний контролер розумного будинку. Датчики бездротові і мають невеликий розмір, що дає можливість змонтувати їх в будь-якому зручному місці. Датчики температури і вологості Z-Wave можуть працювати в комплексі з термостатами, котлами, системами вентиляції. На контролері розумного будинку можна переглядати графіки змін температури / вологості за день, тиждень, місяць або рік.

ДАТЧИКИ ВОЛОГОСТІ ТА ТЕМПЕРАТУРИ DHT11 І DHT22 ДЛЯ ОСНАЩЕННЯ ПРИБУДИНКОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

Датчик DHT11- це цифровий датчик температури та вологості, що дозволяє калібрувати цифровий сигнал на виході. Складається із ємнісного датчика вологості та термістора. Такий датчик містить в собі АЦП для перетворення аналогових значень вологості та температури.

Основні характеристики:

— визначення вологості: 20-90% RH ± 5% (макс.);

— визначення температури: 0-50 ºС ± 2% (макс.);

— частота опитування: не більше 1 Гц;

— розміри 15.5 х 12 х 5.5 мм;

— 4 виводи з відстанню між контактами 0.1.

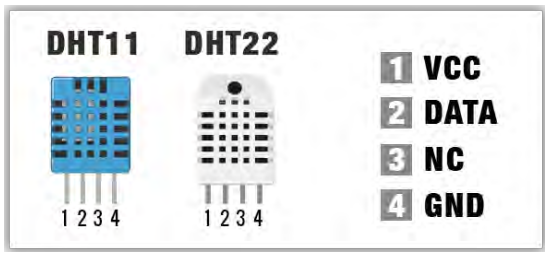


Рисунок 1. Розпіновка датчиків DHT11 та DHT22

Цифрові датчики температури та вологості DHT11 і DHT22 є датчиками підвищеної точності (0,1ºС). Датчик DHT22 характеризується низьким енергоспоживанням і здатний працювати при досить довгому дроті.

Датчики DHT11, DHT22 можна застосовувати для побудови кліматичного контролю теплиць, оранжерей, а також приміщень. Можна застосовувати відразу обидва датчика в одній системі для моніторингу кліматичних показників помешкання (і прилеглої частини території).

ДАТЧИК ВОЛОГОСТІ І ТЕМПЕРАТУРИ CONNECT HOME CH-S02

Датчик підключається до спеціального роз'єму S-Bus, який розташований на деяких пристроях компанії Connect Home (одноканальний релейний Z-Wave модуль CH-101, термостат Z-Wave CH-201, ІК термостат Z-Wave CH-202.

У мережі Z-Wave датчик відображається, як структурна одиниця (endpoint) модуля, до якого він підключений. Дані передаються керуючому контролеру засобом радіокоманд Z-Wave. Технічні характеристики:

— використовується разом з Z-Wave пристроєм Connect Home;
— виконано в легкому та міцному корпусі;
— підключається до спеціального роз'єму S-Bus;
— максимальна довжина проводу 50 м;
— діапазон вимірювання температури від -55 ° С до + 90 ° С;
— точність вимірювання температури 0,5 ° С;
— діапазон вимірювання відносної вологості від 0-100%;
— точність вимірювання вологості 5%.

Аналіз характеристик можливих варіантів датчиків для побудови автоматизованої системи контролю температурних режимів, тобто для побудови каналів вимірювання температури, показав певні переваги застосування датчиків, що реалізують технологію Z-Wave. Коштують пристрої з технологією Z-Wave дорожче, але інших переваг для вибору достатньо.

ВИСНОВКИ

При створенні власної нестандартної кліматичної системи потрібно вибирати елементи (в першу чергу, датчики) відповідно до умов експлуатації даної системи. Правильно підібрані елементи системи забезпечать її коректність, ефективність роботи та економію коштів для її побудови. Аналіз характеристик датчиків показує доцільність використання датчиків з інтелектуальною складовою. Такі датчики здатні забезпечувати самообслуговування, збір даних і попереджувати аварійні ситуації.

Це робить власну систему «клімат-контроль» безпечною і надійною для споживача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Система умного дома Freedomotic: [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.freedomotic.com.
[2] Сравнение умных домов: [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://hometa.ru/articles/sravnenie-sistem-umnyj-dom/.
[3] Клімат контроль для розумного будинку - як за допомогою одного пристрою контролювати температуру у вашому домі?: [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://bron.ua/article/klmat-kontrol-dlya-rozumnogo-budinku-yak-za-dopomogoyu-odnogo-pristroyu-kontrolyuvati-temperaturu-u-vashomu-dom/1/

Наук. Керівник – к.т.н., доцент, Андрєєва О. В.

УДК 621.121

В.М. Садченко, студент гр. ПМ-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ЕТИЛОВОГО СПИРТУ

Анотація. У статті наведено опис фізико-хімічних властивостей етилового спирту та його концентрованого розчину. Проведено огляд та аналіз переваг і недоліків методів вимірювання витрати спирту. Обрано метод вимірювання витрати спирту для подальшого дослідження та вдосконалення.

Ключові слова: спирт, етиловий спирт, витрата, ультразвуковий витратомір, силовий витратомір, вихоровий витратомір.

ВСТУП

Етиловий спирт приймає важливу участь у харчовій, хімічній, фармакологічній та інших промисловостях, а тому важливим є точне, економічно вигідне і надійне вимірювання його витрати та кількості на всіх етапах від виробництва, транспортування та використання. До того ж ця речовина підлягає досить суворому державному контролю, а тому для обліку кількості спирту виробниками пропонується до використання велика кількість лічильників та витратомірів, заснованих на різних фізичних методах вимірювання.

ОПИС ВИМІРЮВАНОГО СЕРЕДОВИЩА, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Етиловий спирт – це прозора некольорова рідина без сторонніх часток [1][2].

Безводний етиловий спирт характеризується наступними показниками для нормальних умов (таблиця 1).

Таблиця 1. Фізичні константи етилового спирту

Константа	***Значення***
Густина, кг/м3	789,45
Температура кипіння, °С	78,4
Температура замезання, °С	-114,6
Температура спалаху, °С	13
Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	2,42
В’язкість, мПа·с	1,19
Коефіцієнт стискуваності (для тиску 0,1 – 10 мПа), 106(мПа)$^{-1}$	1050

Спирт відрізняється високим питомим об’ємним електричним опором (близько 1,3*106 Ом*см) та високим ступенем пожежонебезпеки (категорія суміші етилену і повітря IIа, група суміші Т2), що спричиняє необхідність забезпечення відповідних умов при вимірюванні.

ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ПРИНЦИПІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ СПИРТУ

Існує дуже багато різних методів вимірювання витрати рідинних середовищ, проте для вимірювання витрати спирту використовують декілька основних методів, найбільш прийнятних з точки зору метрологічних, економічних та експлуатаційних показників. Розглянемо ці методи більш

детально.

Силові витратоміри. Основою коріолісового витратоміра є сенсор (рис. 1), який складається з однієї або двох вимірювальних (сенсорних) трубок 1, що мають зігнуту форму (на рис. 1 показано сенсор з двома U-подібними трубками), які приварені до ділянки трубопроводу з фланцями [3]. Між трубками на спеціальному кріпленні розташована задавальна котушка 2, що створює коливання трубок. З боків трубок на вході і виході встановлені детектори 3, що визначають положення трубок одна щодо іншої.

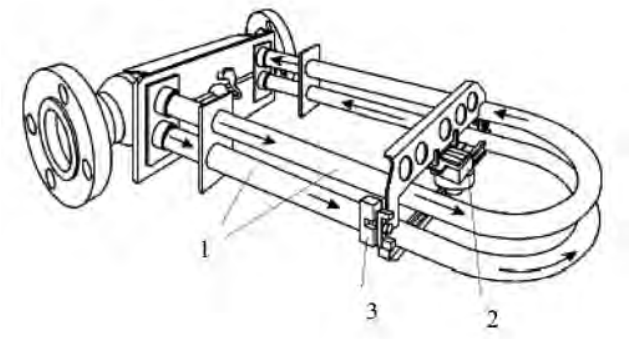


Рисунок 1. Сенсор коріолісового витратоміра

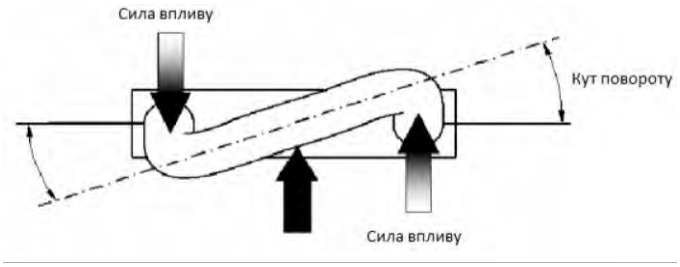


Рисунок 2. Закручування трубки

Рідині, що протікає через трубу, надається вертикальна складова руху вібруючої трубки. При русі трубки вгору під час першої половини циклу коливання рідина, що впадає до трубку створює опір руху вгору давлячи на трубку вниз.

Поглинувши вертикальний імпульс при русі навколо вигину трубки, рідина, що випливає з неї, чинить опір зменшенню вертикальної складової руху, штовхаючи трубку вгору. Це призводить до закручування трубки (рис. 2).

Коли трубка рухається вниз під час другої половини циклу коливання, вона закручується в протилежну сторону. У цьому закручуванні і проявляється ефект Коріоліса.

Переваги коріолісових витратомірів [4]: виміряні значення не чутливі до в'язкості рідини, і зміна густини рідини мало впливає на виміряне значення; не потрібні прямі ділянки труби перед і після нього; він може вимірювати широкий спектр рідин, включаючи різні рідини з високою в'язкістю, суспензії, що містять тверді частинки, рідини, що містять слідові гази, а також гази середнього і високого тиску достатньої щільності; можна вимірювати багато різних даних, наприклад одночасне вимірювання густини, і таким чином отримати концентрацію розчиненої речовини в розчині для вимірювання.

Недоліки коріолісових витратомірів: великі втрати тиску; масові витратоміри Коріоліса чутливі до зовнішніх вібраційних збурень; масові витратоміри Коріоліса не можуть використовуватися для вимірювання середовищ з низькою густиною і газів низького тиску; присутність газу в рідині вище певної межі (залежить від моделі) може істотно вплинути на виміряне значення.

Ультразвукові витратоміри. Ультразвуковий метод вимірювання витрати заснований на явищі зміщення звукового коливання рухомого рідкого або газоподібного середовища [3].

Вимірювання витрати, в основному, здійснюється шляхом непрямих

вимірювань наступних величин:

- різниці часів Δt (часоімпульсний метод) проходження ультразвукових імпульсів по потоку і проти нього;
- різниці фаз ΔФ (фазовий метод) між ультразвуковими коливаннями, що поширюються по потоку і проти нього;
- різниці частот Δf (частотний метод) двох автогенераторів, в якості елементу зворотного зв'язку яких використовується середовище, що контролюється.

Сучасні витратоміри, здебільшого, реалізують часоімпульсний метод. На рис. 3 представлена принципова схема вимірювання витрати ультразвуковим часоімпульсним методом.

Регулятор потоку включає в себе пару (рис. 3, а) або декілька пар (рис. 3, б) електроакустичних приймально-передавальних перетворювачів А (А') і В (В'). Перетворювачі працюють як в режимі джерела ультразвукового сигналу, так і в режимі приймника. Відстань між перетворювачами дорівнює *L*.

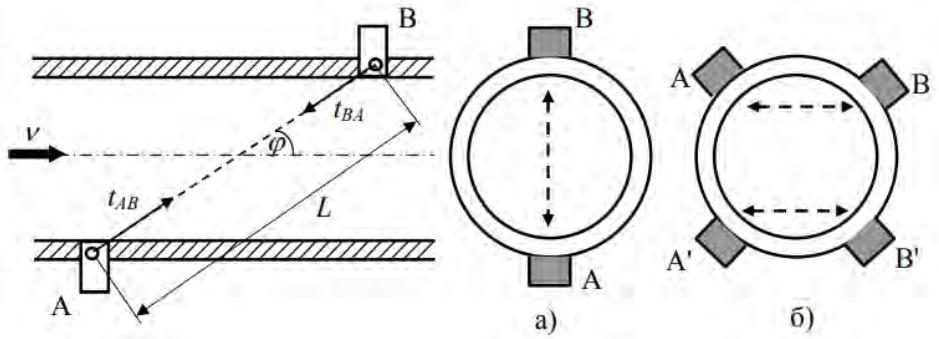


Рисунок 3. Схема вимірювання ультразвуковим витратоміром: а – з двома перетворювачами; б – з чотирма перетворювачами

Якщо ультразвукові коливання поширюються за напрямком швидкості потоку v, то вони проходять відстань *L* за час

$$t_{AB} = \frac{L}{a+v} = \frac{L}{a}\frac{1}{1+(\frac{v}{a})}, \quad (1)$$

де *a* – швидкість звуку в заданому середовищі.

При поширенні коливань проти швидкості потоку

$$t_{BA} = \frac{L}{a-v} = \frac{L}{a}\frac{1}{1-(\frac{v}{a})}. \quad (2)$$

Відношення *v/a* досить мале порівняно з одиницею, тому з великою вірогідністю можна прийняти

$$t_{AB} = \frac{L}{a}(1-\frac{v}{a}) = \frac{L}{a} - \frac{Lv}{a^2}, \quad (3)$$

$$t_{BA} = \frac{L}{a}(1+\frac{v}{a}) = \frac{L}{a} + \frac{Lv}{a^2}, \quad (4)$$

В ультразвукових витратомірах фіксується різниця часу

$$\Delta t = t_{BA} - t_{AB} = \frac{2Lv}{a^2}, \quad (5)$$

Ця різниця часів проходження імпульсів за потоком і проти потоку і є мірою витрати.

Переваги ультразвукових витратомірів [5]: мінімальна похибка вимірювань; відсутній опір потоку; висока надійність і довговічність, обумовлена відсутністю контакту з середовищем і механічних рухомих деталей; широкі межі вимірювань зі збереженням високої точності; низьке споживання електроенергії, автономність і незалежність від стану електромережі; не вимагає надмірної протяжності прямих ділянок магістралі.

Недоліки ультразвукових витратомірів: чутливість до бульбашок повітря в рідині і рівномірності течії; складність калібрування і регулювання; висока ціна.

Вихрові витратоміри. Ці витратоміри побудовані на принципі залежності від витрати частоти коливань тиску, що формуються в потоці в процесі вихроутворення при обтіканні тіла [6].

Тіло, що перебуває на шляху потоку, змінює напрямок руху обтікаючих його струменів і збільшує їх швидкість за рахунок відповідного зменшення тиску. За міделевим перетином тіла починається зворотний процес зменшення швидкості і збільшення тиску. Одночасно з цим на передній стороні тіла створюється підвищений, а на задній стороні - знижений тиск. Граничний шар, оточуючий тіло, пройшовши його міделевий перетин, відривається від тіла і під впливом зниженого тиску за тілом змінює напрямок руху, утворюючи вихор. Це відбувається як у верхніх, так і в нижніх точках обтічного тіла. Але так як розвиток вихору з одного боку перешкоджає такому ж розвитку з іншого боку, то створення вихорів з того чи іншого боку відбувається по черзі (рис. 4). При цьому за обтічним тілом утворюється вихрова доріжка Кармана шириною *a*, що має постійне відношення *b / a*, яке для обтічного циліндра рівне 0,281.

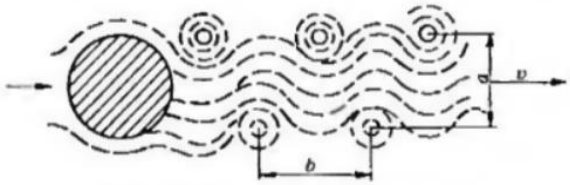


Рисунок 3. Схема утворення вихорів

Переваги вихрового витратоміра [7]: вихоровий витратомір не має рухомих частин, а вимірювальний компонент має просту конструкцію, надійну роботу і тривалий термін служби; вихоровий витратомір має широкий діапазон виміру; на об'ємну витрату вихорового витратоміра не впливають такі параметри, як температура, тиск, щільність або в'язкість вимірюваної рідини; він вимірює витрату рідин, газів або парів, має дуже широке застосування; викликає невелику втрату тиску; висока точність і низькі експлуатаційні витрати.

Недоліки вихорового витратоміра: у нього погані антивібраційні характеристики; ударна хвиля рідини з високою швидкістю потоку викликає коливання в вихровому тілі, що знижує точність вимірювання; неможливо виміряти забруднене середовище; при установці вихрового витратоміра пред'являються високі вимоги до прямих ділянок труби перед витратоміром; не підходить для вимірювань рідин з низьким числом Рейнольдса; не підходить для пульсуючого потоку.

ВИСНОВКИ

Наведений огляд методів вимірювання витрати спирту показав, що найбільш доцільно в промисловості використовувати вихорові витратоміри. Його переваги є найбільш суттєвими для сучасної промисловості в умовах постійних економічних збурень, а метрологічні характеристики цілком задовольняють умови задачі вимірювання витрати спирту. Недоліки цих витратомірів здебільшого досить легко компенсувати. Для подальшого дослідження та конструктивного вдосконалення при виконанні бакалаврського проєкту обрано вихоровий метод вимірювання витрати спирту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Справочник по производству спирта. Сырье, технология и технохимконтроль. / В. Л. Яровенко, Б. А. Устинников, Ю. П. Богданов, С. И. Громов. — М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. — 336 с.

[2] Этиловый спирт. / В.Н. Стабников, И.М. Ройтер, Т.Б. Процюк.— М.: Пищевая промышленность, 1976. — 272 с.

[3] Технические измерения и приборы. Часть 1. Измерение теплоэнергетических параметров: Учебное пособие для студентов дневной и заочной формы обучения спец. 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств»/ Н.В. Чистофорова, А.Г.Колмогоров. –Ангарск, АГТА, 2008. - 200 с.

[4] Преимущества и недостатки кориолисовых массовых расходомеров. – Режим доступу: https://ru.silverinstruments.com/support/technical-reference/disadvatage-and-advantage-of-coriolis-mass-flow-meters.html

[5] Какие существуют расходомеры и в чём разница. – Режим доступу: https://elquanta.ru/novoe/ultrazvukovoj-rashodomer.html

[6] Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2/ Под общ. ред. Е. А. Шорникова. — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2004. — 412 с.: ил.

[7] Преимущества и недостатки вихревого расходомера. – Режим доступу: https://ru.silverinstruments.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-vortex-flowmeter.html

Наук. керівник – асистент Драчук О.О.

УДК 621.6.04

В.В. Ходячий, аспірант гр. ПМ-81ф, доц. Нікітін О.К.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЕ В ТРУБОПРОВОДЕ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОТОКОВ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В статье рассматривается вертикальное гравитационное движение ограниченного объёма сыпучего материала под действием силы тяжести. Особенностью движения является образование при падении сыпучего материала полости с вакуумметрическим давлением, Определены основные параметры колебательного процесса.

Ключевые слова: сыпучий материал, поршень, трубопровод, движение, давление

ВСТУПЛЕНИЕ

Одним из элементов систем разгрузки ёмкостей с сыпучим материалом, например, муки, могут являться **разгонные трубы**. Перемещаясь в разгонной трубе сыпучий материал может формироваться в “пакеты”, которые, оторвавшись от последующей приостановившейся массы сыпучего материала, будут формировать за собой зону пониженного давления. Это давление, как представляется, может остановить движение “пакета” сыпучего материала.

Данная работа, в определенной степени, продолжает рассмотрение вопросов, затронутых в [1,2,3,4].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассматриваются параметры процесса гравитационного движения тела в вертикальном трубопроводе. Схема трубопровода приведена на рисунке 1.

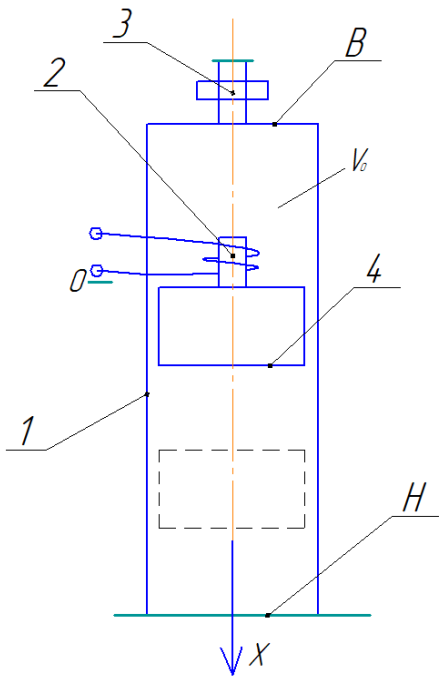


Рисунок 1. Трубопровод с неподвижным электромагнитом

В неподвижной вертикальной цилиндрической трубе 1 находится неподвижный электромагнит 2. Верхнее отверстие трубы закрыто непроницаемой перегородкой «В» с центральным круглым отверстием. В отверстии установлен электромагнитный клапан 3 обеспечивающий сообщение

внутреннего объёма трубы и окружающего трубу воздушного пространства. Нижнее отверстие трубы Н открыто. Снизу заводим в трубу тело в виде поршня 4, массой m и удерживаем его в верхнем крайнем положении с помощью электромагнита 2. Наружный диаметр поршня незначительно меньше внутреннего диаметра трубопровода 1. Суммарный объём воздуха в трубопроводе над поршнем обозначаем V0. Закрываем клапан 3 и отключаем электромагнит 2.

После этого поршень начинает падать вниз, и давление над поршнем будет снижаться. Предполагаем, что длина трубы не позволяет поршню выпасть из трубы. В результате поршень, до того, как остановится, будет совершать колебательные движение относительно положения статического равновесия поршня, определяем параметры этих колебаний.

Опуская процесс получения выражения, определяющего жесткость объёма воздуха в замкнутом пространстве над поршнем. Жёсткость воздуха над поршнем равна:

$$C = \frac{\rho_n^2 g^2 h_n^2 S_n}{h_0 (P_{am} - \rho_n g h_n)} = \frac{G^2}{V_0 (P_{am} - \rho_n g h_n)}. \quad (1)$$

где С – жесткость; ρn – плотность материала поршня; g – ускорение свободного падания; hn – высота поршня; Sn – начальная высота объёма воздуха над поршнем; Рат – атмосферного давление; G – вес поршня.

Направим ось X по вертикале вниз, взяв в качестве начала отсчета положение статического равновесия поршня.

В начальный момент поршень находится на расстоянии ΔXст над положением статического равновесия. ΔXст есть статическая деформация начального объёма V0 в направлении оси X и она составляет:

$$\Delta X_{cm} = \frac{G}{C} = \frac{V_0 (P_{am} - \rho_n g h_n)}{G} \quad (2)$$

где G – вес поршня; V0 – объём воздуха над поршнем.

Воздействие поршня на замкнутый объём воздуха над ним можно охарактеризовать как ударное воздействие.

Отсутствие точки в начальный момент времени определяют начальные условия движение поршня:

$$t = 0; x = x_0 = -\Delta X_{cm}; x = x_0 = 0.$$

При переходе поршня нуля и дальнейшее движение вниз на поршень будет действовать восстанавливающая сила:

$$F_x = -c(\Delta X_{cm} + X). \quad (3)$$

где X – смещение поршня вниз относительно нулевой точки.

Дифференциальное уравнение движение поршня на ось X будет иметь вид:

$$m\ddot{x} = G + F_x . \tag{4}$$

С учетом уравнение 3 получим:

$$\frac{G}{g}\ddot{x} = G - c\Delta X_{cm} - cx . \tag{5}$$

Для положения статического равновесия поршня имеем:

$$G - F_{cm} = 0,$$
$$G - c\Delta X_{cm} = 0.$$

С учетом этого запишем дифференциальное уравнение 5 в виде:

$$\ddot{x} + \kappa^2 x = 0, \tag{6}$$

Где

$$\kappa^2 = \frac{cg}{G}.$$

Дифференциальное уравнение свободных колебаний поршня является линейным однородным уравнениям второго порядка с постоянными коэффициентами. Решение уравнения имеет вид:

$$x = c_1 \cos kt + c_2 \sin kt, \tag{7}$$

Принимаем следующие начальные условия:

$$t = 0, x_0 = -\Delta X_{cm}, \dot{x} = \dot{x}_0 = 0.$$

Отсюда постоянные интегрирования будет равны:

$$C_1 = -x_0 = \frac{G}{c}; C_2 = \frac{\dot{x}}{k}.$$

И соответственно:

$$x = x_0 \cos kt + \frac{\dot{x}}{k}\sin kt. \tag{8}$$

Амплитуда колебаний поршня равна:

$$A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} = \sqrt{x_1^2 + \frac{\dot{x}_0^2}{k^2}}. \tag{9}$$

При принятых:

$$x_0 = \Delta x_{cm}; \dot{x}_0^2 = 0,$$
$$A = x_0 = \Delta x_{cm}.$$

имеем, что вертикальное перемещение поршня будет составлять: 2ΔXст.

Давление, которое будет создано над поршнем при его нижнем крайнем

положении, будет равно:

$$P_k = \frac{P_{am}}{1 + \frac{2\Delta x_{cm}}{h_0}}. \quad (10)$$

ВЫВОДЫ

Приведённые материалы могут быть использованы при изучении процессов в разгонных трубах, где роль поршня условно выполняет объёмы сыпучего материла, например, муки, которая, перемещаясь по вертикальному трубопроводу, образует над собою зоны с вакуумметрическим давлением.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННІХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Ходячий В. В. Експериментальне визначення параметрів взаємодії потоку сипких матеріалів і твердих тіл. / В. В. Ходячий, О. К. Нікітін. // Збірник праць 15 науково- практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні” 10 – 11 грудня. – 2019. – С. 232 – 235.

[2] Ходячий В. В. Определение параметров потока сыпучих материалов при истечении из бункера. / В. В. Ходячий, О. К. Нікітін. // . Збірник статей 11 Всеукраїнської науково- практичної конференції студентів та аспірантів “ Погляд у майбутнє приладобудування” 15 – 16 травня. – 2018. – С. 224–227.

[3] Гячев Л. В. Основы теории бункеров / Л. В. Гячев. – Новосибирск, 1992. – 312 с.

[4] Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

[5] Гячев Л. В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л. В. Гячев. – М.: Машиностоение, 1968. – 183 с.

Секція 5.

Метрологія, інформаційні вимірювальні технології та екологічна безпека

УДК 621.325; 621.335

Ю. В. Носова, А.А. Ільченко, студ. гр. ПН-91, к.т.н., доц., Божко К.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА І МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ MULTISIM АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСЛІДОВНОГО ТИПУ

Анотація. Пакет програмної симуляції Multisim від компанії National Instruments в наш час широко використовують для проектування електронних пристроїв і систем, а також в процесі навчання в університетах і коледжах світу. Проектування в середовищі Multisim є ефективним і потужним інструментом, проте воно потребує знання особливостей застосування цього програмного продукту. Автори сформулювали і вирішили задачу: розробити власну схему аналого-цифрового перетворювача на окремих дискретних електронних компонентах – резисторах, конденсаторах, мікросхемах тощо. Окремі вузли розробленої схеми були налаштовані за допомогою моделювання в Multisim. Робота усієї схеми в різних режимах була також перевірена при моделюванні. При цьому були використані бібліотечні компоненти Multisim і віртуальні контрольно-вимірювальні прилади. Були також виявлені деякі недокументовані особливості моделювання. Даний проект довів дієвість методу програмної симуляції при розробці складних аналогових і цифрових пристроїв і систем, зокрема для задач приладобудування. Він також встановив необхідність власного введення проектувальником обмежень на деякі параметри вузлів із операційними підсилювачами, наприклад, коефіцієнту підсилення, вихідного струму тощо, оскільки сама програма їх не обмежує.

Ключові слова: Multisim, цифро-аналоговий перетворювач, операційний підсилювач, суматор, аналоговий ключ, логіка CMOS, компаратор, аналого-цифровий перетворювач.

ВСТУП

Середовище проектування електронних пристроїв і систем Multisim, на думку авторів, само може бути предметом наукового дослідження. При виконанні власної розробки аналого-цифрового перетворювача була поставлена також задача виявлення недокументованих особливостей даної програми. Результатом розробки мала бути схема, яка із прогнозованою похибкою відтворює в цифровій формі значення вхідної напруги. Таким чином, одночасно вирішувались навчально-методичні, інженерні і наукові задачі: навчитись розробці і моделюванню електронних пристроїв, розробити власну схему аналого-цифрового перетворювача та налаштувати її модель, опанувати програмний симулятор Multisim і дослідити приховані особливості його експлуатації.

ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ З МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРОБКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРТВОРЮВАЧІВ

В бібліотеці компонентів Multisim (версія, яка є доступною для навчання) присутні моделі лише двох ідеальних аналого-цифрових перетворювачів: восьми-розрядного ADC8 та шістнадцяти-розрядного ADC16. Тому інші автори [1] для моделювання пропонують свої власні прості схеми, зокрема двох-розрядну, та висвітлюють досвід її налаштування. Цю роботу можна вважати попередницею даного дослідження.

В Україні накопичений багатий досвід з розробки та дослідження інформаційно-вимірювальних систем на основі застосування аналого-цифрових перетворювачів. Зокрема в роботі [2] наведено системний аналіз параметрів аналогових пристроїв і метрологічних характеристик аналого-цифрових перетворювачів, що самокалібруються. Для вивчення принципів цифрової обробки сигналів корисними є численні монографії і підручники, класичними з яких автори вважають [3] та [4]. Прикладом сучасного підручника мовою

оригіналу є [5]. Для інженерів-розробників корисним буде [6]. Підтримку програмного продукту Multisim користувачі можуть отримати за допомогою ресурсу компанії National Instruments[7].

РОЗРОБКА СХЕМИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСЛІДОВНОГО ТИПУ НА ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Авторами була розроблена схема електрична структурна аналого-цифрового перетворювача послідовного типу на основі дискретних елементів (Рисунок 1).

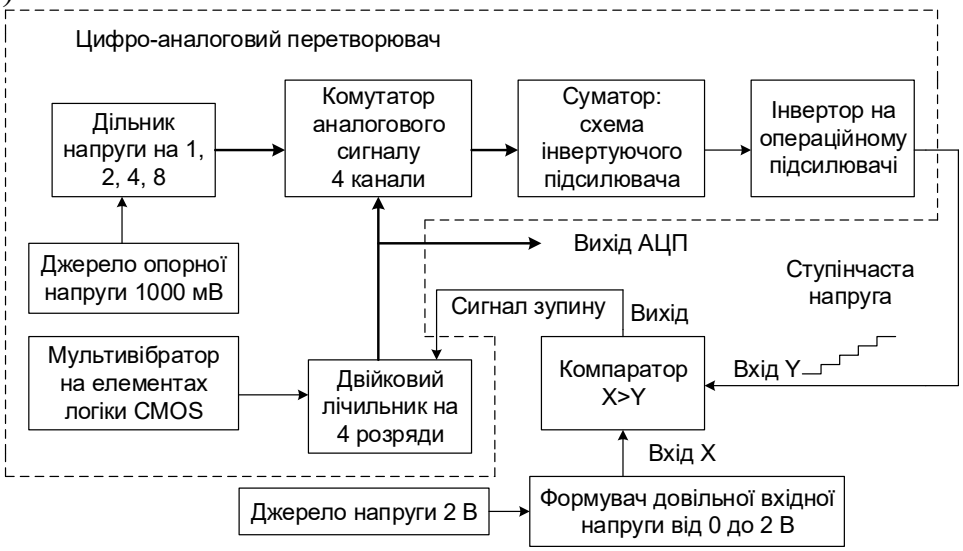


Рисунок 1. Схема електрична структурна аналого-цифрового перетворювача

В схемі реалізовано алгоритм послідовного збільшення ступінчастої напруги і порівняння її із вхідною вимірювальною напругою у компараторі. Номер ступені дорівнює кількості імпульсів, які надходять до двійкового лічильника. При перевищені ступінчастою напругою рівня вхідної напруги відбувається зупин лічильника. На виході лічильника після зупину ми маємо двійковий код вхідної напруги. Похибка методу знаходиться в межах кроку квантування і завжди є додатною. Для реалізованої чотирьох-розрядної схеми похибка дорівнює 1/8 від величини опорної напруги, що дорівнює 1/15 від максимального рівня ступінчастої напруги. Основну частину схеми займає цифро-аналоговий перетворювач, задачею якого є формування ступінчастої напруги відповідно до цифрового коду.

Для реалізації розробленої схеми обрано поширені елементи від відомих виробників, які також є в бібліотеках електронних компонентів програми Multisim. При цьому був задіяний генератор імпульсів на елементах логіки CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), який зібрали на трьох інверторах за схемою несиметричного мультивібратора. Ключ або комутатор аналогового сигналу (мікросхема серії 4000) забезпечує надходження напруги по чотирьох каналах до входу суматора для формування ступінчастої напруги. Управління ключем – цифрове, від виходів двійкового лічильника (задіяна мікросхема CMOS серії 4000).

Імітатор вхідної напруги, яку необхідно перетворювати у цифрову форму, побудовано на резистивному дільнику та джерелі напруги 2 В. Величина опорної

напруги для формувача ступінчастого сигналу складає 1 В. Операційні підсилювачі типу AD544 задіяні в суматорі та інверторі.

Для вимірювання і реєстрації сигналів у характерних точках схеми запропоновано використати віртуальні лабораторні прилади Multisim: два мультиметри, двохканальний осцилограф та логічний аналізатор.

МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ В MULTISIM

Налаштування схеми відбувалось окремо для кожного із вузлів. Потім був створений загальний проект відповідно до завдання. Його реалізацію наведено на рисунках 2 та 3.

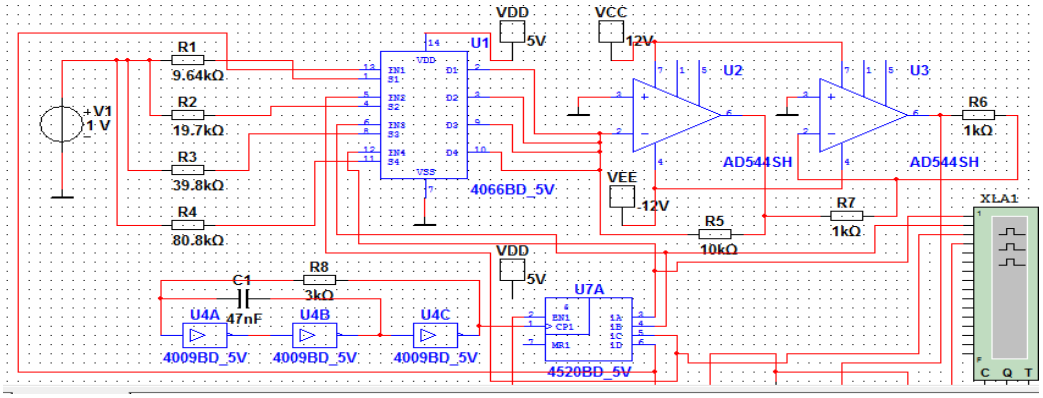


Рисунок 2. Модель схеми аналого-цифрового перетворювача в програмі Multisim: частина 1

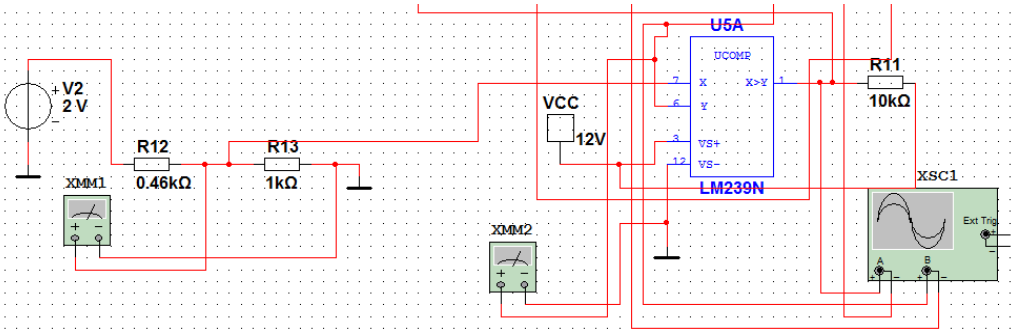


Рисунок 3. Модель схеми аналого-цифрового перетворювача в програмі Multisim: частина 2

Процес формування ступінчастої напруги та сигналу зупину лічильника на виході компаратора відображено на каналах A та B віртуального осцилографу XSC1 (Рисунок 4a), а цифровий код ступінчастої напруги після зупину її зростання – на логічному аналізаторі XLA1 (Рисунок 4b).

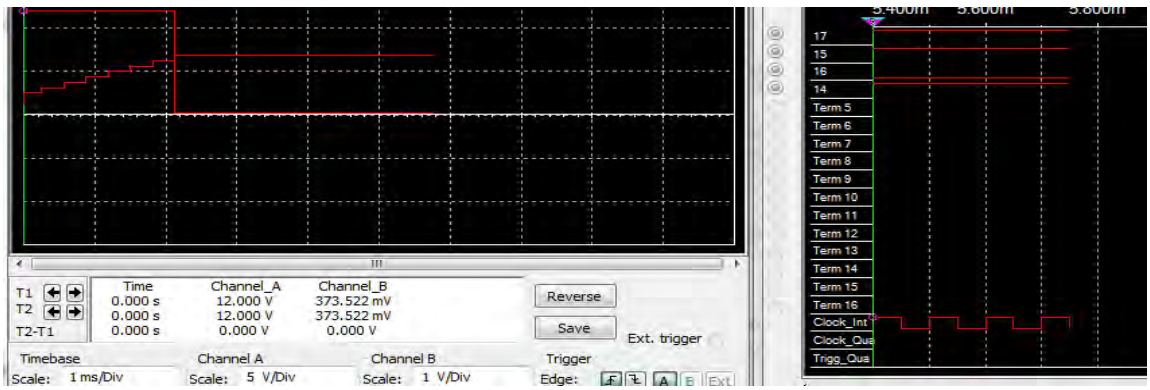


Рисунок 4. a)Процес формування ступінчастої напруги та сигналу зупину лічильника; b)відображення коду 1011 на логічному аналізаторі (напруга 1,375 В)

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ І ВИСНОВКИ

Результати роботи довели плідність методу розробки «згори-додолу» в середовищі Multisim за формулою: алгоритм – схема електрична структурна – окремі вузли – схема електрична принципова. Практичну цінність має сам проект, оскільки схема є оригінальною і дозволяє урізноманітнити як процес навчання, так і розробки електронних пристроїв. Можливе нарощування кількості розрядів перетворення додаванням аналогічних до задіяних в схемі елементів. Встановлено, що похибка вимірювання напруги не перевищує кроку її дискретизації, а швидкодія обмежена часовими параметрами суматора.

За результатами дослідження з'ясовано, що моделі із бібліотек Multisim часто не мають узгодження з реальними параметрами електронних компонентів. Тому необхідно при моделюванні створювати такі режими роботи схеми, щоб не виходити за межі паспортних даних елементів (Data Sheets). Отже, автори пропонують моделювання виконувати разом із аналізом необхідних Data Sheets.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Макаренко В.В. Моделирование радиоэлектронных устройств с помощью программы NI MULTISIM // ЭКиС – Киев: VD MAIS, 2008, № 7, С. 54-59.
[2] Крупельницький Л.В. Аналого-цифрові пристрої, що самокорегуються, для вимірювань і обробляння низькочастотних сигналів /Л.В. Крупельницький, О.Д. Азаров. – Вінниця:УНІВЕРСУМ. – 2005. – 168 с.
[3] Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов /Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М.:Мир. – 1978. – 848 с.
[4] Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. – М.:Машиностроение. – 1986. – 448 с.
[5] Fiore J.M. Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application. – Version 3.25, 15 December 2020. – 588 p. [Electronic resource] Available:http://www.dissidents.com/resources/OperationalAmplifiersAndLinearICs_3E.pdf [23.04.2021]
[6] Mancini R., editor in Chief. Op Amps for Everyone: Design Reference. – Published: Texas Instruments Incorporated. – 2002. – 464 p.

Наук. керівник – к.т.н., доц., Божко К.М.

UDC 631.811.98.006.91

Panasenko M.H., student gr. PV-01mp, professor Yaremenko V.S.
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

INFORMATION MEASURING SYSTEM OF WATER PARAMETERS

Abstract. This article gives information about the information measuring system of specific water parameters. And also gives overview on why is it important to use such system.

Keywords: Internet of Things, Information measuring system, water quality, ecological issues.

PROBLEM STATEMENT

Nowadays, it is widely spread that water is taken from reservoirs that may be affected by external factors, the need for quality control of these resources is a priority. At present time, the reservoir and the quality of the resource that is in it are not one hundred percent regulated by the governmental departments. Also, many of the reservoirs are bought for example for fisheries and do not have state control.

Due to the fact that most water resources are interconnected by underground sources, pollution of one body of water can lead to an environmental catastrophe for many others. Illegal discharges of wastewater into lakes and rivers lead to the death of fauna, and it is not uncommon for riverbeds to be blocked to draw water for production, which in turn leads to overdrying of the riverbed and the transformation of rivers into swamps.

WHY DO WE NEED SUCH A SYSTEM

It is worth starting with what is Information measuring system(IMS) and why it is needed. As of now, more and more companies are using systems that allow them to investigate specific fluid parameters. Every year, environmental standards increasingly control the production of beverages, mass production of any food and non-food products, chemicals, and their wastewater. Quite often lakes contain human waste, such as plastic wrappers from food, drinks, or cigarettes. An example of surface water quality is given on Fig. 1. Water pounds quality.

Fig. 1. Water pounds quality

Also, there is the problem of deforestation, which in the spring leads to the fact that along with the snow to the rivers get chemicals that tilled the land, because many neglects the minimum distance from the place of cultivation and planting to the reservoir.

That is why a system for monitoring the quality of water resources is so necessary.

The IMS provides an opportunity to signal the pollution of the reservoir, which in turn at least warns citizens that drinking water from a well is harmful to their health. Such a system will allow fisheries to understand that, for example, as a result of rising temperatures, too many algae have evolved, which over the established amount are toxic and deadly to fish[1].

These information measuring systems do not have the global drawback, because the sensors have high accuracy and data transmission occurs automatically at specified intervals. The only weakness may be that most of these systems are monolithic, which makes it impossible to replace an element in the field and after replacing the entire system requires recalibration.

One of the main parameters for the study of the aquatic environment is the pH level to measure this parameter, electrodes are used. The ones are connected to devices for data acquisition, some devices are mounted for example on a pipe through which the flow passes and the electrode measures in real-time and transmits obtained results over Wi-Fi to display changes in water quality.

The second, equally important parameter chosen is temperature and it measures with a portable waterproof temperature sensor[2].

Research of salinity and oxygen saturation of water is an important parameter for ponds and aquariums, as for the functioning of ecosystems, these parameters are very vital. Continuous monitoring systems are often used to study the quality of aquarium water, because some species of fish, especially tropical ones, are very sensitive to all indicators.

Probe for measuring a certain parameter - pH, dissolved oxygen, temperature, turbidity, etc. The probes are an analog device whose resistance varies depending on the measured medium. For example, the change in resistance of the thermistor depending on the ambient temperature. Measurement accuracy is not less than 1%.

Transmitter - GSM / GPRS modules, uses a SIM card to transmit data on the location of the sensor and transmits the necessary information parameters every 5 - 10 seconds (Maximum distance), Wi-Fi module has a small compared to the previous range but allows you to transmit data over long distances (Average transmission radius), Bluetooth (smallest transmission radius), radio wave (Second in transmission radius after GSM / GPRS module) or direct-wired data transmission to a personal computer or reader.

Relevance to use IMS lies in the fact that it provides an informative indicator for assessing the quality of the measured fluid can be used both for a single user and measurement for continuous measurement of transmission parameters to a PC user for further calculations.

The main advantage of IMS is the accuracy and parameters of measurements are measured values - turbidity, alkalinity, temperature. The range of impurity concentration measurements: 0 - 10 μm[3]. Temperature range from +5 to - 99 ºC.

Temperature - absolute measurement error – not bigger than 0.1 and pH - error not bigger than 0.15. As well as impurities (mechanical) - error not bigger than 5%.

The limit of the allowable main consolidated measurement error is 0.5.

The additional error from the change of ambient temperature from 0 ºC to the maximum value of the operating temperature for every 10 ºC does not exceed half of the allowable main error[4].

If necessary, the modules can be changed to obtain other informative parameters.

Thus, the presence of this system in the enterprise allows it to obtain accurate and timely results without the need to call professional and expensive mobile laboratories. But it provides an opportunity to monitor the state of the aquatic environment and inspect the change of parameters in certain time intervals for quality control.

REFERENCE

[1] Panasenko M. Information measuring system of water quality : дис. техн. наук / Panasenko Mariia – Kyiv, 2020.

[2] Testing a Calibration Method for Temperature Sensors in Different Working Fluids [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/340307192_Testing_a_Calibration_Method_for_Temperature_Sensors_in_Different_Working_Fluids.

[3] Carrier Lifetime Measurement for Characterization of Ultraclean Thin p/p+ Silicon Epitaxial Layers [Електронний ресурс] // ARIZONA STATE UNIVERSITY – Режим доступу до ресурсу: https://core.ac.uk/download/pdf/79566475.pdf.

[4] LMT89 2.4-V, 10-µA, SC70 Temperature Sensor [Електронний ресурс] // Texas Instruments – Режим доступу до ресурсу: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmt89.pdf?ts=1617476892229&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.

УДК 621.791

Шолудько К. А., студ. гр. ПН-81, Микитенко М.Л., студ. гр. ПН-81, Волошин О.В., студ. гр. ПН-81, Мельниченко Д.С., студ. гр. ПН-01мп, Мелкумов А.М., студ. гр. ПН-зп91
КПІ ім. Сікорського

ВИМІРЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Анотація. Впровадження нових методів моніторингу якості води є шляхом для вирішення проблеми хімічних параметрів води, які швидко змінюються, та здійснюють непоправний вплив на людський організм. Розроблена методика вимірювання концентрації шкідливих речовин у потоці води базується на використанні спектрофотометричного методу.

Ключові слова: нітрати, УФ-випромінювання, датчики, контроль якості води.

ВСТУП

Вода є беззаперечно одним із найбільш життєво важливих ресурсів як для людини, так і для всіх живих істот. При її вживанні здійснюється вплив на організм. Який саме вплив – позитивний чи негативний – визначається хімічним складом води. Однією з найбільш шкідливих речовин, які можна зустріти у воді, яку споживають люди, є нітрати. Нітрати (NO_3^-) – це речовини, що містять іони з одним центральним атомом азоту, оточеним трьома атомами кисню. Вони легко розчиняється у воді і є поживною речовиною, необхідною для рослин, яку часто застосовують для посівів, щоб сприяти росту рослин. Окрім стоку з посівних площ і газонів, джерела нітратів у навколишнє середовище включають скиди з очисних споруд, септичних систем, місць для зберігання гною та промислових об'єктів [1]. Також існують природні джерела нітратів, такі як підгниваючи рослинні залишки.

На сьогодні існують різні методи вимірювання нітратів у воді. Але найбільш практичним є спектрофотометричний метод. За його допомогою нітрати можна виявити, вимірявши проникнення ультрафіолетового (УФ) світла через розчин. Форми електромагнітного випромінювання розрізняють за довжиною хвилі. Матеріали по-різному поглинають електромагнітне випромінювання, при цьому нітрати найсильніше поглинають при короткій (<250 нм) довжині УФ-хвилі. Ультрафіолетові датчики вимірюють це поглинання світла нітратами і перетворюють його в концентрацію, саме в цей час [2].

ОГЛЯД АНАЛОГІВ

Для розгляду аналогів було обрану модель спектрофотометру NitroVis компанії YSI [3]. Зовнішній вигляд представлено на рис. 1.

Рисунок. 1. Спектрофотометр NitraVis

Прилад складається з корпусу, внутрішніх оптичних компонентів та електронних компонентів. Циліндричний корпус, який захищає внутрішні оптичні компоненти, має діаметр 60 мм, виготовлений з титану задля більшої довговічності. Лінзи розташовані на

кожній стороні вимірювального зазору. Вимірювальний зазор заповнюється дослідним зразком, коли прилад занурений у стічні води. Лінзи для даної моделі виготовляються з сапфіру.

Схема оптичних компонентів NitroVis показані на рис. 2.

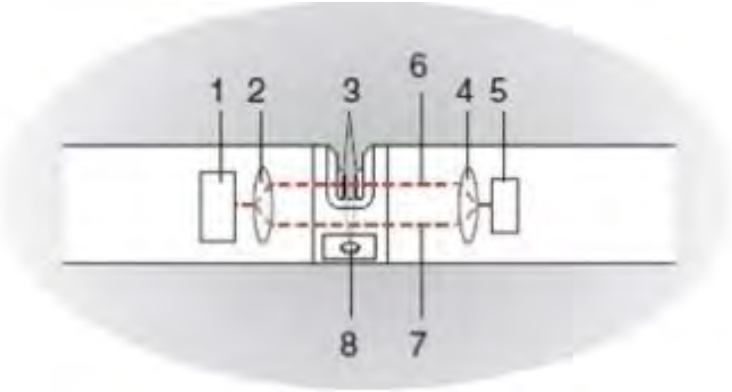


Рисунок 2. Схема оптичних компонентів

Джерелом світла є ксенонова лампа (1), яка випромінює світло в діапазоні довжин хвиль від ультрафіолету до видимого світла. Ксенонова лампа має винятково довгий строк дії. Випромінювач оптичної системи (2) розділяє вихід лампи, спрямовуючи вимірювальний промінь (6), через сапфірові лінзи у вимірювальний зазор (3). Приймач оптичної системи (4) направляє вимірювальний промінь і еталонний промінь до детектора (5), який складається з одного або декількох нерухомих фотодіодів. Однохвильова конфігурація вимірює поглинання на одній довжині хвилі в УФ-діапазоні. Поглинання від другої довжини хвилі близько 550 нм у видимому діапазоні використовується для компенсації помутніння. NitraVis має точність +/- 3% від виміряного значення або +/- 0,5 мг/л. Представлена вище модель спектрофотометра має явні переваги, але є надто дорогою для масового використання та для контролю водойм України.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В лабораторних умовах ми використовували наш дослідний багатоканальний зразок на сучасних світлодіодах, в якості випромінювачів світла. Програмна обробка дозволяла отримувати результати вимірювання в реальному часі. Для дослідження вмісту нітратів у різних водах послідовно змінювався склад водного розчину за рахунок добавок різних вод. Результати дослідження приведені на рис.3. Спочатку дослідним зразком для вимірювання виступила чиста вода, отримана за допомогою зворотного осмосу, яка майже не містить нітратів. Починаючи з часу – 12:33, досліджувану воду почергово забруднюємо за допомогою розчину з відомим вмістом нітратів для перевірки роботи датчика. Надалі концентрацію нітратів у водному розчині зменшуємо за допомогою чистої води. Саме для цього добавляємо 200 мг відстояної води зі ставку з парку Відрадного, що є одним з витоків річки Либідь, як наслідок концентрація зменшується, що й бачимо на графіку в реальному часі. О 14:29 добавляємо 200 мг води з ріки Дніпро, взятої в околиці м. Кременчук.

Концентрація домішок, у тому числі нітратів, різко зростає і перетинає безпечну межу у 40 мг/л, досягаючи відмітки 83 мг/л. Далі почергово вводиться чиста вода, вода зі ставка та забруднена вода, що відображається на графіку.

Рисунок 3. Графік результатів дослідження

ВИСНОВКИ

У даній роботі наведені перші результати вимірювання стану водного розчину в реальному часі. Роботи проведені за рахунок нового дослідного зразка – багатоканального датчика, розробленого також з нашою участю. Наведено та реально показано можливості спектрофотометричного метода вимірювання концентрації нітратів у воді, що є важливим критерієм якості водного середовища. Саме моніторинг водного басейну у реальному часі дає можливість вчасного запобігання потрапляння небажаних домішок, так як дає сигнал для додатково очищення вод з річок та озер, перешкоджаючі їх потрапляння до людських домівок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] APHA. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.

[2] Pellerin B. A. et al. Optical techniques for the determination of nitrate in environmental waters: Guidelines for instrument selection, operation, deployment, maintenance, quality assurance, and data reporting //US Geological Survey Techniques and Methods. – 2013. – С. 1-D5.

[3] Спектрофотометр IQ SensorNet NitraVis® Sensors. Режим доступу: https://www.ysi.com/nitravis

Наук. керівник – к.т.н., ст. викладач Таранов В. В.

Секція 6.

Комп'ютерно-інтегровані медичні системи та технології біомедичних досліджень

UDC 612.824:826, 004.383.8.032.26

Valeryi Verezhynskyi, student gr. PG-81, Assoc. Prof. Oleksii Pavlovskyi
Igor Sikorsky KPI

BRAIN-MACHINE INTERFACES OVERVIEW

Annotation. Brain-machine interfaces contains from a variety of other systems and technologies that packed together in one box – neural implant – are able to change a life of millions of people. Indeed, assuming progress of constant enhancement in computational hardware and continuation of miniaturization of electronic devices, we are getting ready to see this state-of-the-art technology in a marketplace.

Keywords: neural interface, brain-machine interface, brain-computer interface, Neuralink.

INTRODUCTION

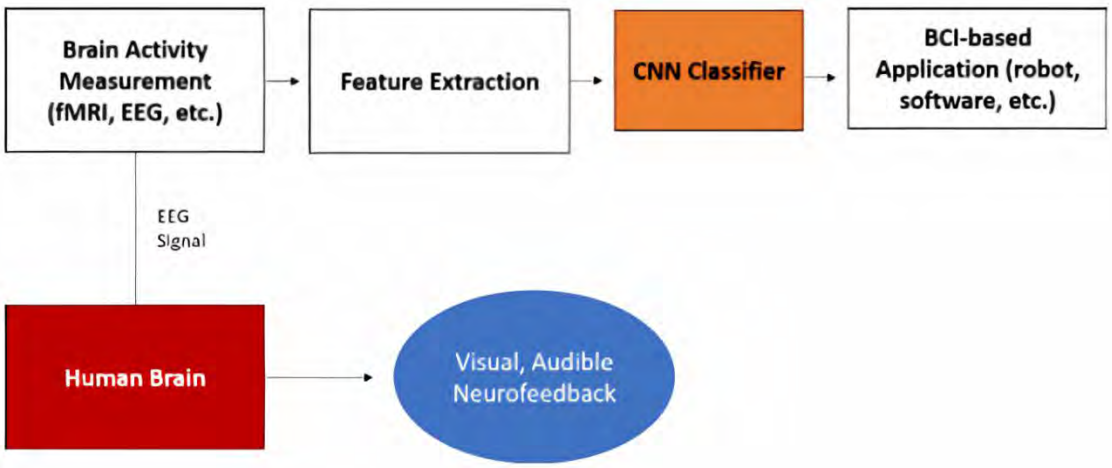
Despite a futuristic nomination, neural interfaces, or speaking in a common way, brain-machine interfaces, weren't developed in the last decade - experiments on animals' brains are being done from the beginning of the second half of XX century.

As a 60 years ago, a baseline of brain interface - thin electrodes that are able to detect the smallest potential`s deviations, inserted right to brain. However, modern science is able to produce noninvasive approaches, this method lags far away from invasive one - brain signals that are coming through a human skull are very distorted and nonspecific. However, in order to complete the path to the technical devices that will be controlled by the mind, humanity had to make a huge scientific breakthrough [1], for example, new microprocessor technologies, computing hardware and software containing modern neural algorithms that allow for the preprocessing of raw brain data. An overview of these technologies will be the main purpose of this article.

THE NOMINATION OF BRAIN-MACHINE INTERFACES

Brain-Machine Interface (BMI) - system of direct communication between brain and a digital device. BMI development is targeted on renewing human`s sensory-motor functions and enhancing cognitive skills or sensory-motor function that is called augmenting. BMI is able to receive signals from the brain as well as send it to it [2].

BMI, in a common way, is a very complicated system that contains several specific parts, described on (picture 1). One of the newest parts is a neural decoder which is ordinary built based on open-source architectures.



Picture 1. Standard pipeline of using brain-machine interface

THE TIMELINE OF BRAIN-MACHINE INTERFACE EVOLUTION

In the 1970s in The University of California a group of scientists began a research directed to understanding human recovery after damage of sight, hearing and losing motor functions in cause of injuries or diseases. That research led to creation of the nomination Brain-Computer Interface.

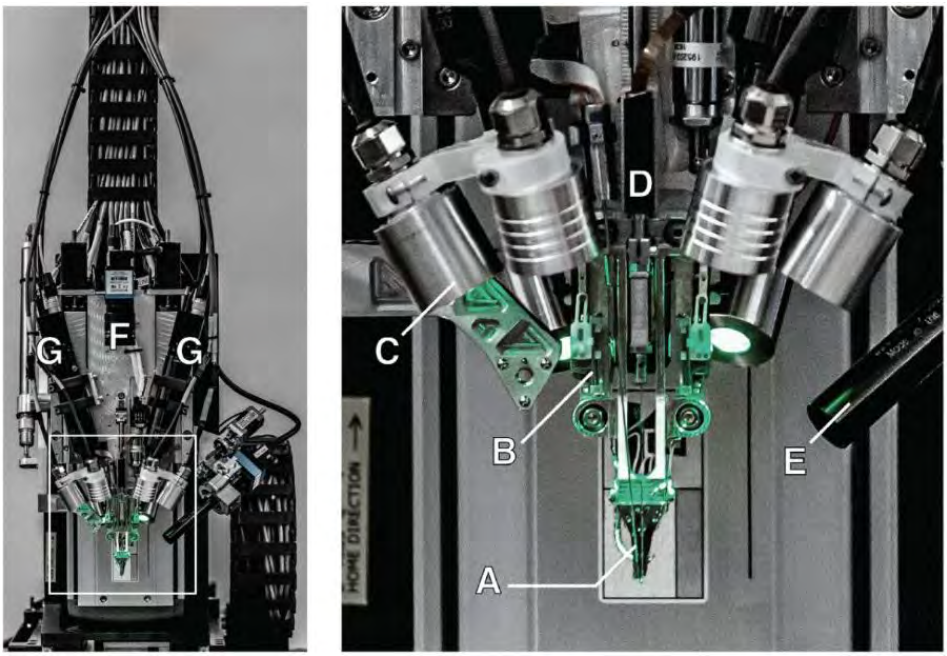
In the middle of 1990s science approach in the area of human augmentation was able to create the first neural prosthesis for humans. However, accuracy of BMI in case of recording neural signals wasn't that precise to modern one, but they already were well precise to manually, using advanced mathematics decode output signal from the brain to interpret it and make decisions from it.

In June of 2004 American Matthew Nagle became the first man in the world who got a neural implant. Implant was produced by the lead American company BrainGate.

In December of 2004 Jonathan Wolpaw and his research team released a scientific article in which was demonstrating the ability to control a pointer on a computer screen using a brain-machine interface. To be able to do that, a patient had to wear a specific kind of hat with electrodes within it and hardly concentrate on wish to move that pointer. That research made a huge public response [3].

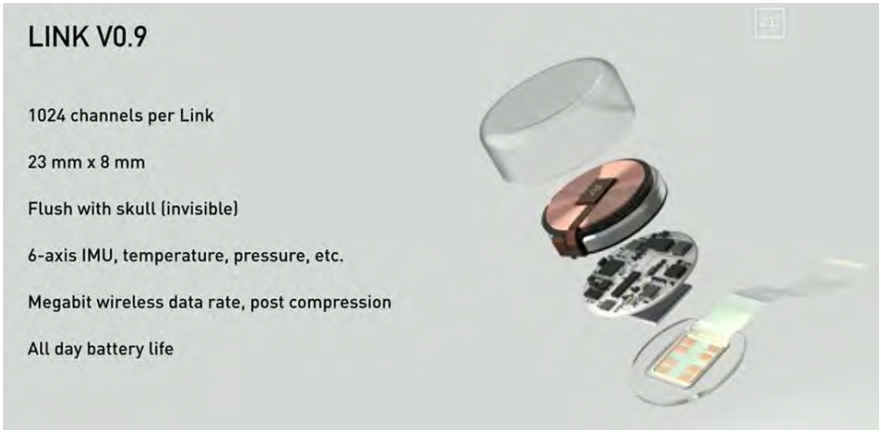
ELON MUSK`S NEURALINK

Brain-machine interfaces (BMIs) have a strong potential to help people with a wide range of clinical issues – mental or physical disorders, however clinical BMIs aren`t that effective as needed – they are strong limited by modest channel counts. Neuralink has break this limit by using 3072 electrodes, distributed in 96 threads. Each thread is individually implanting using specialized robot (picture 2), without any human`s intervention.



Picture 2. The robotic electrode inserter. A. Loaded needle pincher cartridge. B. Low-force contact brain position sensor. C. Light modules with multiple independent wavelengths. D. Needle motor. E. One of four cameras focused on the needle during insertion. F. Camera with wide angle view of surgical field. G. Stereoscopic cameras.

The array of electrodes is packaged into a miniaturized implantable device (picture 3) with built-in accumulator that is capable to keep it's charge daylong. After that it can be recharged using an induction charger. That implantable device (chip) is able to detect neural activity with low latency and is very durable to keep implanted forever if needed [4].



Picture 3. The miniaturized durable implantable device with induction charger

CONCLUSION

Brain-machine interface is one of the most perspective and promising state of technology for the current time [4, 5]. According to that, many companies, startups and scientists are concentrating their resources on BMI development and research. However, only few of them are able to show state-of-the-art products. This direction that combines neurobiology and micromechanics in itself keeps it place in the top charts in the list of the technologies that going to be able most precipitously change the world.

REFERENCES

[1] Brain Computer Interface: EEG Signal Preprocessing Issues and Solutions – [Electronic resource] Access mode: https://e-tarjome.com/storage/btn_uploaded/2020-03-11/1583927128_10503-etarjome%20English.pdf

[2] Enhancing Nervous System Recovery through Neurobiologics, Neural Interface Training, and Neurorehabilitation – [Electronic resource] Access mode: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5186786/

[3] A beginner`s guide to brain-computer interface – [Electronic resource] Access mode: https://towardsdatascience.com/a-beginners-guide-to-brain-computer-interface-and-convolutional-neural-networks-9f35bd4af948

[4] An integrated brain-machine interface platform with thousands of channels – [Electronic resource] Access mode: https://www.biorxiv.org/content/10.1101/703801v1.full

Supervisor – Assoc. Prof. Oleksii Pavlovskyi

UDC 534.773.2

Y.A. Yukhymenko, student gr.PB-82, V.O. Syrosh, student gr.PB-71
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

REVIEW AND ANALYSIS OF MODERN GADGETS FOR PEOPLE WITH HEARING IMPAIRMENTS

Annotation. The article considers the features of gadgets that help people with physical hearing impairments to live a normal life in society, as well as discusses the issue and describes the importance of developing such gadgets affordable for all those who need.

Keywords: hearing aids, text transcription, gadgets for the deaf.

INTRODUCTION

Tens of thousands of scientists, engineers and developers around the world are working on technologies that make life easier for people with disabilities. Thus, technical means for people, for example, deaf or dumb, have long been not limited to wheelchairs or hearing aids. For people with disabilities, useful devices have been created for aiding them in everyday life: to deal with everyday problems, to work, to communicate, to be creative.

Among the most popular devices are the following: hearing aids to improve hearing, contact lenses to improve vision, as well as adaptations of already known and familiar gadgets for people with certain disabilities, and so on. For people with impaired musculoskeletal system, there are individual exoskeletons that help them to stand, squat, walk or perform other complex movements.

Nowadays, the direction of developing gadgets for people with disabilities is rapidly developing, as the problem is quite relevant and there are more and more new ways to solve it. This article discusses several similar gadgets, describes their features and the importance of new developments in that current.

MAIN PART

In the United States, hundreds of thousands of people with hearing and speech impairments rely on American Sign Language (ASL) to communicate with others. But what should such a person do if he will have to communicate with person, who do not understand this language? [1]

If we consider gadgets for people with hearing impairments, then in its complete absence there are hearing aids (Fig. 1), which in modern realities have become commonplace. They are based on the fact that the microphone receives external sound, which is amplified to the required value (for every person it is individual) and reproduced in an amplified form.

But at the same time, such devices are effective only at the weakened hearing. In complete absence of it, they make no sense. Therefore, at this time you need to adapt and use other senses. For example, one of the most promising ideas is to convert people's speech into text messages. But in this case, you need to provide fast conversion so that people perceive the information they are trying to receive fast enough, and the gadget should recognize different voices of people for the participation of several people in the conversation [2].

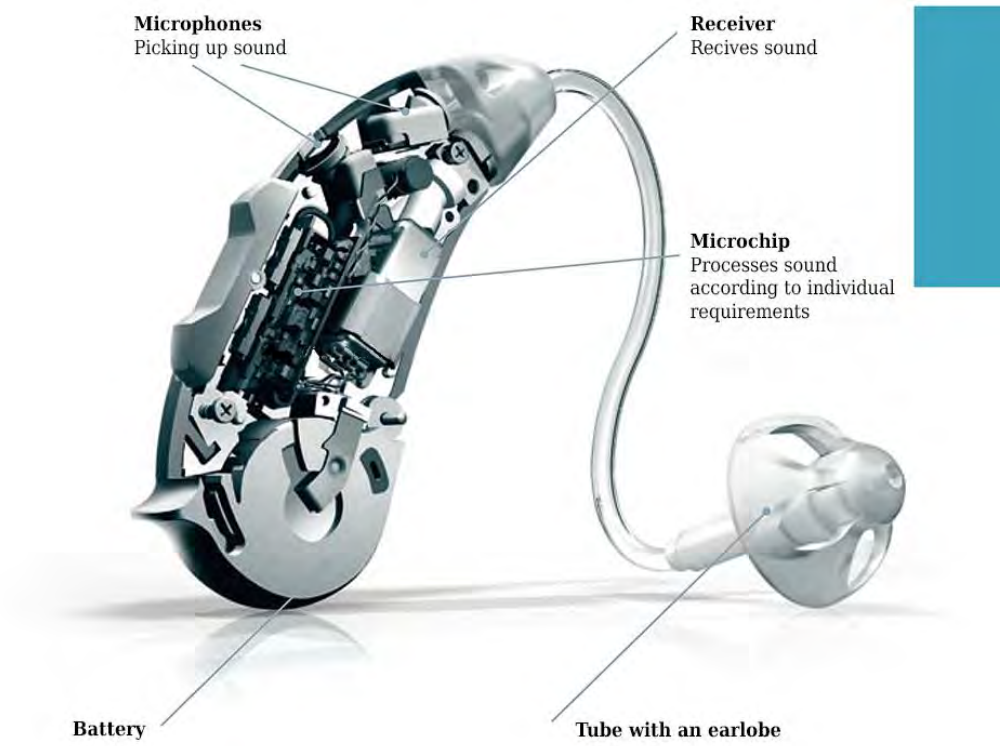


Fig. 1 The structure of a unified hearing aid

There is such a development, a device called SpeakSee (Fig. 2), which allows people with hearing loss to "see" what others are saying.

Fig. 2 Gadget view for quick speech conversion to text messages SpeakSee

If we talk about the features, the design of this device involves the presence of a microphone that picks up and records speech, ignoring the background noise. The recorded voice is transcribed into text and displayed on the screen of the connected device (a smartphone in this case). Everything happens in real time, you do not lose

the essence of the conversation and do not miss anything important. It is enough to connect the device via Wi-Fi to a smartphone, tablet or laptop. Then install a specially designed application. According to the manufacturer, there are no further settings, it is enough to connect a smartphone and a device using the application. In addition, the gadget can be connected to a TV or conference system. If there are two or more users in network, several gadgets are connected in parallel and the speech on the monitor is displayed in a dialog format. This device also can recognize the voice of a different people. The developers have taken care of large groups of speakers, so by connecting several devices along the wireless chain, you can expand the number of participants in one dialogue to 9 people. The small size of the device will allow you to carry it with you and use it at any time you need. It can be charged using a docking station designed for 3 microphones (as shown in Fig. 2), which is recharges via USB port. The built-in battery lasts for 2 to 4 hours, depending on the volume of the conversation and the frequency of the spoken words. The docking station will extend the life of the microphone to 8 hours of autonomous recording without external recharging.

CONCLUSIONS

From the above review and analysis, we can conclude that it is quite possible nowadays to make a working gadget to make life easier for people with hearing loss. This is a very acute problem nowadays. However, this direction is quite conceptual and is being tested, as the device requires compactness and autonomy, along with a fairly fast processor and RAM to process human speech and transcribe it into text, as well as a quality microphone which will be able to accurately distinguish the voices of several speakers at the same time. Therefore, already at the design stage we can conclude that the gadget will have a high cost [3]. But for all its shortcomings, the development of such devices is necessary for people with certain physical disabilities to feel normal in society and live a full life.

REFERENCES

[1] SmartAIDs : web-site. URL: https://sluh.zp.ua/chto-takoe-sluxovoj-apparat/ (date of application: 07.05.2021).

[2] Palladium: web-site. URL: https://palladium.ua/bud-chastju-razgovora-vmeste-so-speaksee--devajsom-dlja-gluhih-i-slaboslyshaschih.html(date of application: 01.05.2021).

[3] Скрупский Ф.В. Современные методы мониторинга нейромышечной блокады [Текст] / Ф.В. Скрупский, Г.С. Тымчик, Н.В. Стельмах // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2013. – 6 (83). – С. 59-63.

Supervisor - PhD, Assoc. Prof. Stelmakh N. V.

УДК 615.472

Б.О. Баталія, студент гр. ПБ-82
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КЛАСИФІКАЦІЇ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЯ ШЛУНКОВО-КИШКОВОГО ТРАКТУ ЛЮДИНИ

Анотація. У наш час великого розповсюдження набувають проблеми та захворювання шлунково-кишкового тракту, це пов'язано з ритмом життя сучасних людей: зазвичай неправильним раціоном та незбалансованим харчуванням, додаємо до цих причин спадкові патології, та проблеми викликані стресом та депресіями і отримуємо велику кількість захворювань шлунково-кишкового тракту людини (ШКТ), до яких можна віднести пухлини, запальні захворювання тонкої та товстої кишки, виразки шлунку, хронічні гастрити, коліти, панкреатити, різноманітні кровотечі та інші проблеми. Усі ці захворювання вимагають більш якісні та новітні підходи для діагностики ШКТ. До сучасних методів діагностики ШКТ можна віднести: гастроскопію, лапароскопію, біопсію, комп'ютерну томографію (КТ), ультразвукову діагностику (УЗД), магнітно-резонансну томографію (МРТ) та інші. Однією з нових та перспективних методів діагностики є капсульна ендоскопія, вона має низку переваг над іншими методами та є гарною альтернативою в діагностуванні ШКТ.

Ключові слова: ШКТ, КТ, капсульна ендоскопія, неінвазивний метод дослідження, класифікація методів, діагностика.

ПОСТАНОВКА ЦІЛІ

Шлунково-кишковий тракт э важливою частиною травної системи організму, з його допомогою відбувається евакуація переробленої їжі по кишечнику. Разом з цим відбувається механічна обробка їжі, ферментативна обробка та всмоктування поживних для організму речовин. У свою чергу на кожному етапі проходження їжі по нашому ШКТ можливе виникнення певних порушень та збоїв, саме такі порушення і можуть призводити до виникнення різноманітних патологій ШКТ. Такі проблеми в свою чергу можуть негативно відбиватися на усьому організмі [1].

У наш час існує багато методів дослідження травної системи, серед сучасних методів діагностики ШКТ: аналізи крові, колоноскопія, ендоскопія, лапароскопія, біопсія, холецистографія, магнітно-резонансна томографія (МРТ), ультразвукова діагностика (УЗД), комп'ютерна томографія (КТ), та багато інших методів. Нажаль, у кожного з цих методів є свої умовні недоліки та протипоказання: опромінення пацієнта, дискомфорт пацієнта, протипоказання деяких методів діагностування, недостатня деталізація шлунково-кишкового тракту, етичні аспекти питання та багато інших проблем, з якими зустрічаються люди з захворюваннями ШКТ. Саме тому необхідно знайти метод, який би мав більшу ефективність та був більш природній для пацієнта [2,3]. Метою даної роботи є проведення аналізу та розробка класифікації методів дослідження шлунково-кишкового тракту людини для обґрунтування запропонованого методу для реалізації системи.

РОЗРОБКА КЛАСИФІКАЦІЇ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЯ ШКТ

У даній роботі проведено аналіз існуючих методів діагностування ШКТ та розроблено власну класифікацію (рис. 1). Створення класифікації необхідно для систематизації та об'єднання знань, поділу методів дослідження за схожими характеристиками для подальшого зручнішого розгляду їх переваг та недоліків.

Усі методи дослідження ШКТ можна розділити на такі підгрупи: лабораторні методи дослідження, ендоскопічні та лапароскопічні методи,

біопсія, променева діагностика та візуалізація ШКТ.

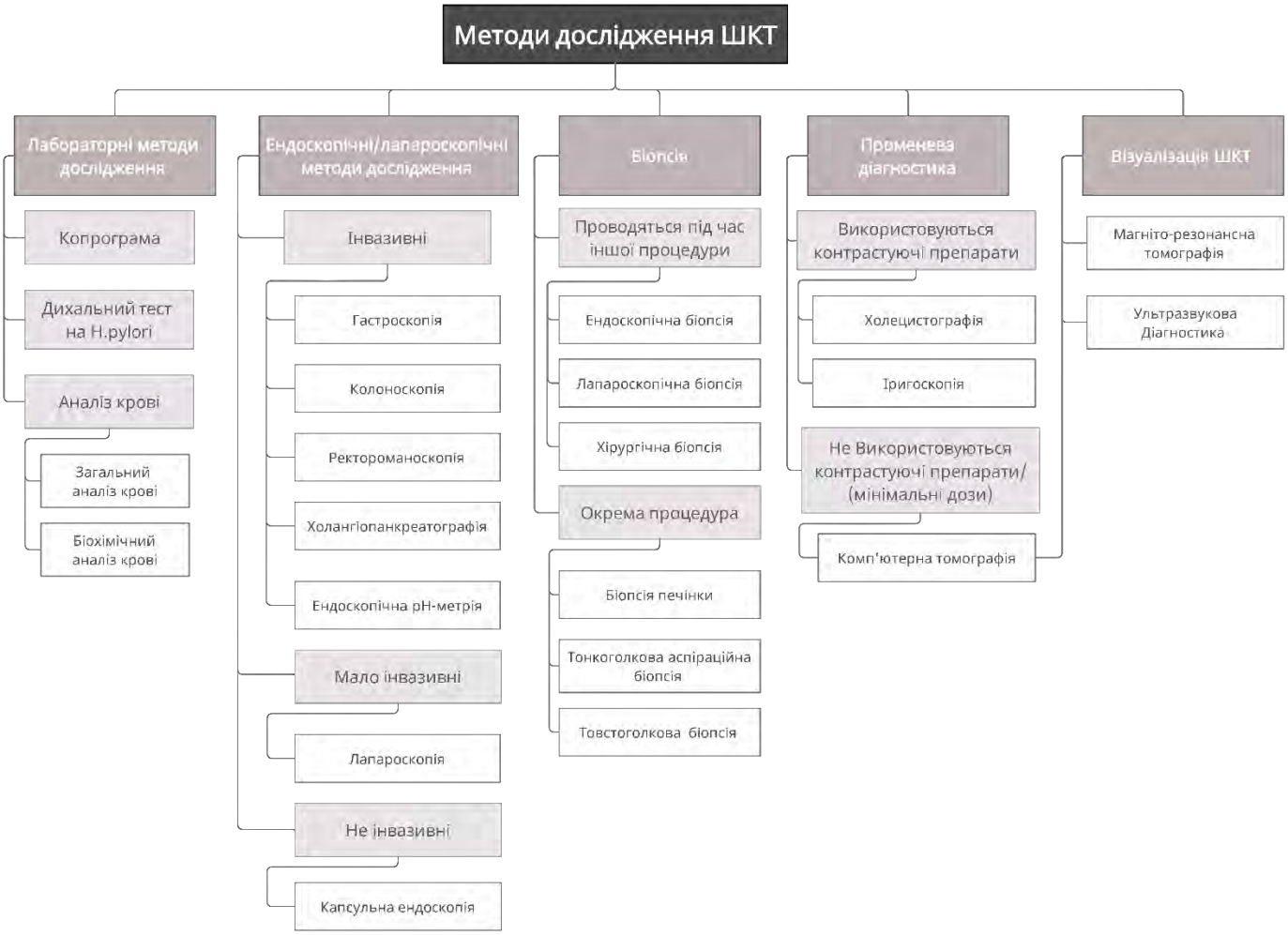


Рисунок 1. Класифікація методів дослідження ШКТ

Лабораторні методи дослідження дозволяють виявити небажані зміни в організмі пацієнта за допомогою різних тестів та аналізів, але дані методи є інвазивними, що порушують цілісність організму. Ендоскопічні та лапароскопічні методи надають найбільшу інформації для дослідження та діагностування патологій ШКТ. У свою чергу ці методи діагностики можна розділити на інвазивні, мало інвазивні та неінвазивні. Дані види дослідження ШКТ допомагають виявити пухлинні утворення, поліпи, ерозії та ракові утворення шлунку на ранніх стадіях, що є важливим показником в ефективності методів.

Біопсія - цей метод діагностики є вторинним і проводиться, якщо інші методи не задають однозначного характеру знайденим утворенням. Вид біопсії обирається залежно від доступності досліджуваного місця та може проводитися одночасно з іншими процедурами, як приклад одночасно з лапароскопічним дослідженням.

Променева діагностика ШКТ, це вид дослідження завдяки якому отримують зображення потрібної області ШКТ, для більшої якості зображень використовують контрастуючі препарати, так звані радіаційні індикатори. Ці методи діагностики є досить ефективними, але радіаційний вплив під час

проведення даних процедур накладає значені обмеження на їх використання [4].

Візуалізація ШКТ, це цілий комплекс досліджень, завдяки яким візуалізують певну область ШКТ, такий вид досліджень є неінвазивним, але передбачає вплив різних видів випромінювання (магнітне, ультразвукове та інші), через це, так як і у променевій діагностиці, з'являються певні обмеження. Саме капсульна ендоскопія єдина є неінвазивним методом діагностики, що має великий потенціал так як не має таких негативних наслідків, як опромінення та не обмежує пацієнта в плані присутності в кабінеті лікаря з спеціальним громістким обладнанням.

ВИСНОВКИ

В даній роботі проведено огляд та аналіз сучасних методів діагностування ШКТ та важливості створення більш сучасних методів його діагностування. Для цього була створена та проаналізована класифікація існуючих методів дослідження ШКТ, в ній вже існуючі методи розділені за певними характеристиками та поділені на підгрупи. Отримані результати вказують на те, що найперспективнішим методом є капсульна ендоскопія, так як вона має низку переваг над іншими методами діагностування, не має великої кількості негативних наслідків та є більш комфортною для пацієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Мельник, С. А., і Ю. В. Гаврилюк. "Аналіз основних електрофізіологічних методів, заснованих на вивченні електричної активності шлунково-кишкового тракту." Перспективні технології та прилади 7 (2015): 91-95 с.

[2] Инструментальные методы диагностики в гастроэнтерологии : учеб.-метод. по- собие / Н. В. Капралов, И. А. Шоломицкая. – Минск : БГМУ, 2015. – 24 с.

[3] Баталія Б. О. Відеокапсульна ендоскопія / Б. О. Баталія. – 2020.// XVI Міжнародна наукова-технічна конференція «XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність Інженерних рішень у приладобудуванні».-К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020.-С.252-255.

[4] Шніцер, Роман Іванович, et al. "Сучасні принципи діагностики передракових станів та раку шлунково-кишкового тракту." (2012).

Наук. керівник – асистент Яковенко І.О.

УДК 57.087.1

Є.О. Бурковський, студент гр. ПБ-82
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ СИГНАЛУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ ДЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Анотація Автоматизована ідентифікація з використанням біометричної аутентифікації має високий рівень захисту, так як оцінює фізичні параметри і характеристики конкретної людини, що робить такий контроль доступу більш надійним. Динамічні біометричні ідентифікатори не можуть бути передані третім особам або бути скопійовані для обходу систем захисту. Існує безліч підходів для опрацювання сигналу ФПГ, але всі вони мають свої недоліки та особливості. Тому важливим питанням є розробка алгоритму виділення основних опорних точок однієї ітерації ФПГ для машинного навчання системи для подальшої автоматизації процесу. В даній статті буде розглянуто аналітичну частину методів виділення сигналу фотоплетизморами та запропоновано алгоритм розрахунку.

Ключові слова : фотоплетизмограма, систола, діастола, пульсометр, ідентифікація, сигнал.

ВСТУП

На даний момент існує безліч способів виділення сигналу фотоплетизмограми (ФПГ). Ці способи відрізняються за кількістю та складністю етапів обробки. Найважливішим є вибір найбільш вдалих комплексів процедур, які необхідно застосувати для виділення ФПГ сигналу [1,2]. Вдалий вибір етапів обробки дозволить створити продуктивну систему обробки, яка буде наймеш ресурсозатратною, швидкою і зручною у користуванні. Саме тому в цій статті буде виділено декілька основних вже існуючих алгоритмів для обробки сигналу фотоплетизмограми. Також буде продемонстровано аналітичний метод розрахунку характеристик ФПГ сигналу а саме: систолічна амплітуда, діастолічна амплітуда, час піку, час дикротичної фази, міжхвильовий час, дикротична фаза. Всі розрахунки будуть виконані за допомогою відповідних аналітичних формул [3].

ПОСТАНОВКА ЦІЛІ

Основні способи виділення сигналу фотоплетизмограми, які було знайдено в літературі та які використовуються на практиці в наш час об’єднано в загальну схему. Схема побудована таким чином, що обов’язкові спільні етапи об’єднано, а етапи, які є додатковими модифікаціями системи виділення та розпізнавання винесено окремо. Було обрано найбільш вдалий алгоритм для створення майбутнього програмного забезпечення. Основними критеріями для вибору етапів побудови були зручність, швидкість, універсальність та можливість реалізації такого алгоритму з найменьшими ресурсовитратами [3].

Програма отримує сирий сигнал фотоплетизмограми, після цього відбувається його попередня обробка. Потім вилучаються співпадіння, далі відбувається перевірка наявності співпадінь в базі даних. Якщо виявлено попередню реєстрацію такого сигналу, то система одразу робить висновок (дозволяє/забороняє доступ), в іншому випадку відбувається класифікація та реєстрація сигналу до загальної бази даних.

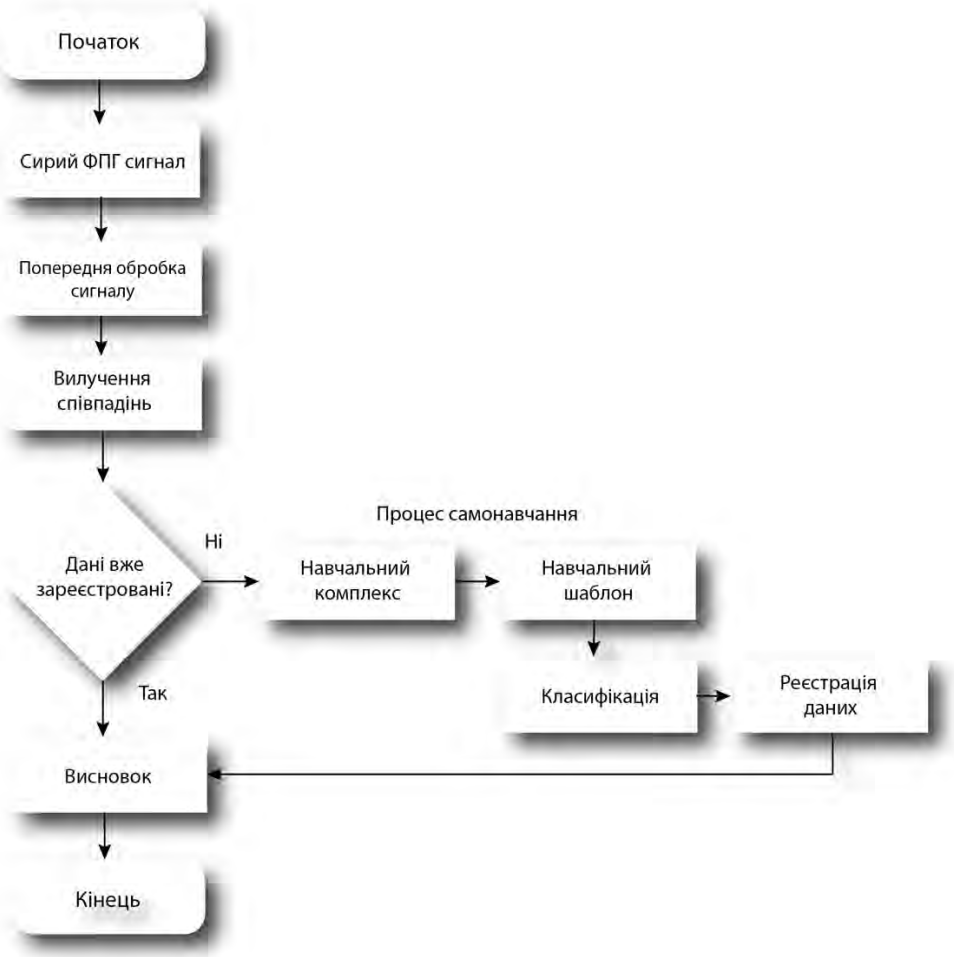


Рисунок 1. Загальна блок-схема етапів виділення сигналу фотоплетизмограми [1]

РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ СИГНАЛУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ

Графічно основні характеристики ФПГ сигналу, що використовуються для алгоритму виділення сигналу зображено на рисунку 2, де позначено основні характерні точки як часових так і амплітудних значень [4][5]:

- Висота систолічної вершини (P1): систолічна амплітуда
- Висота діастолічної вершини (P2): діастолічна амплітуда
- Час вершини (ширина хвилі від початку імпульсу до систолічного піку) TP1
- Час дикротичної хвилі (ширина хвилі від початку імпульсу до діастолічного піку) TP2
- міжхвильовий час (ширина імпульсу ФПГ у двох третинах систолічного піку).
- Середнє значення нормалізованої ФПГ
- Дисперсія (VAR) нормованого ФПГ

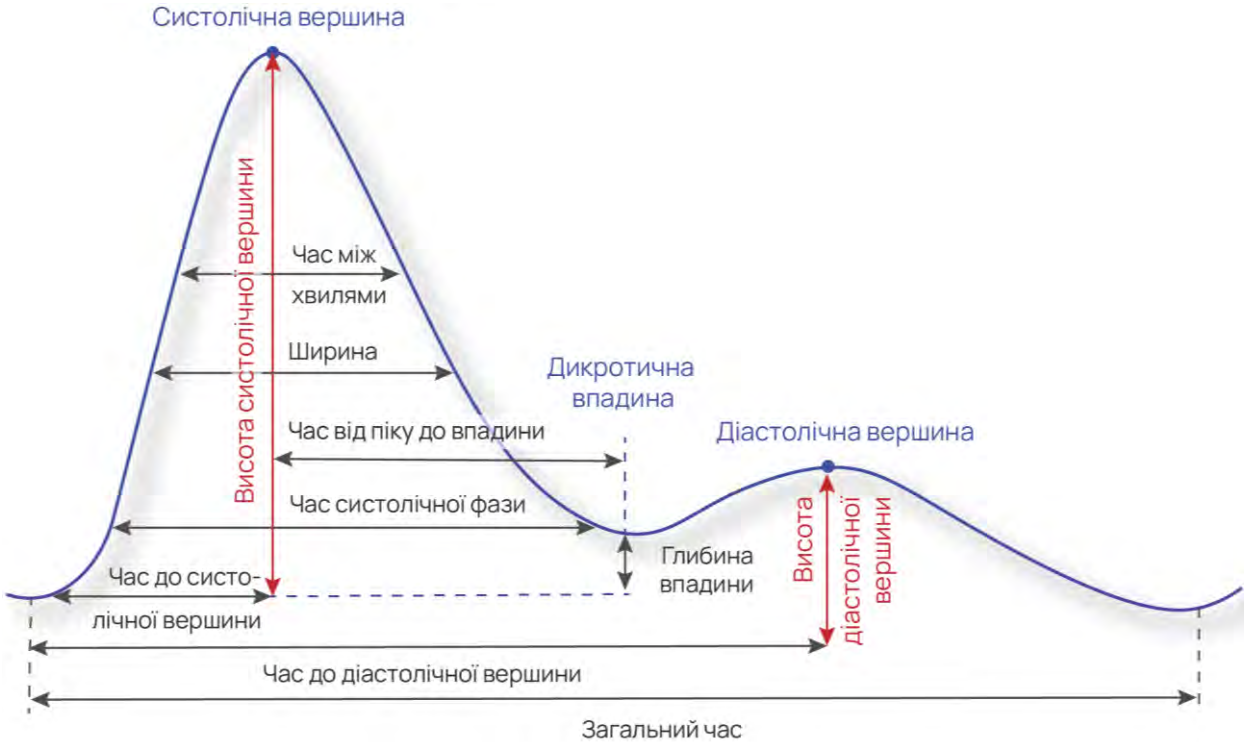
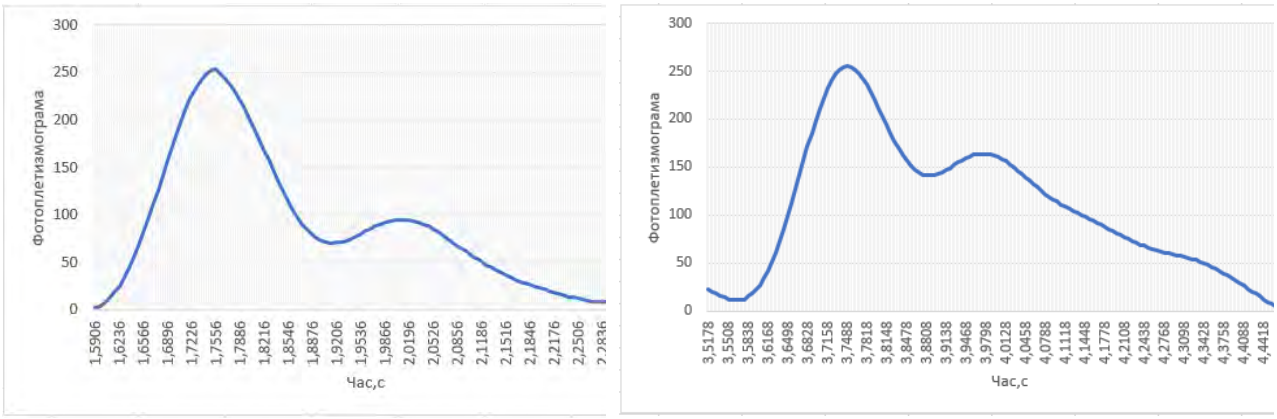


Рисунок 2. Основні характеристики ФПГ сигналу

Застосуємо запропонований алгоритм для виділення основних опорних точок для сигналу ФПГ, що був отриманий на початку досліджень і через 2 тижні для однієї і тієї ж людини (стать – чоловіча; вік – 23 роки) в однакових умовах дослідження. На рис.3 показано ітерації сигналу з різницею в 2 тижні та в таблиці 1 показані числові характеристики основних опорних точок.



а) б)

Рисунок 3. Сигнал ФПГ для обрахунку: а) на початку дослідження; б) через 2 тижні дослідження

Для автоматизованого розрахунку основних опорних точок ФПГ однієї ітерації необхідно прописати алгоритм, що буде мати високий показник відклику системи та забезпечить надійність. Вилучення функцій залежності необхідне для навчання матриці функцій за допомогою алгоритмів машинного навчання.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця середніх значень для двох ітерацій

Параметр	***Значення 1***	***Значення 2***
Висота систолічної вершини	254	254
Час до систоліної вершини, с	0.159	0.231
Час до діастолічної вершини, с	0.41	0.462
Час від піку до впадини, с	0.170	0.132
Загальний час, с	0.7194	0.9492
Відносний час піку, с	0.38	0.5
Відносна амплітуда дикротичної хвилі	0.374016	0.645
Відносний час дикротичної хвилі, с	0.569919	0.486726
Відношення дикротичної впадини до систолічної вершини	0.279528	0.555
Відношення між часом від систолічної вершини до дикротичної впадани та загальним часом	0.2363	0.139

ВИСНОВОК

В даній статті було обґрунтовано важливість правильної побудови процесу виділення сигналу фотоплетизмограми. Запропоновано модифікацію у вигляді шаблонів для машинного навчання. Побудовано блок схему для опису загального алгоритму майбутньої програми. Наведено графічне пояснення характеристик сигналу фотоплетизмограми та отримано результати для подальшого опрацювання знаходження спільних ознак сигналу ФПГ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Яковенко, І. О. Biometrical identification on the basis of photoplethysmogram for automated medical systems // Перспективні технології та прилади. – 2019. – № 15. – С. 120–124.

[2] І.О. Яковенко, К.П Вонсевич, І.Є. Гребень "Метод виділення ітерацій пульсових хвиль фотоплетизмограми для біометричної ідентифікації", Наукові вісті КПІ : міжнародний науковотехнічний журнал, № 3(2020), С. 73–78, 2020. DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.209881

[3] Yang, J., Huang, Y., Huang, F., & Yang, G. (2020). Photoplethysmography Biometric Recognition Model Based on Sparse Softmax Vector and k-Nearest Neighbor. Journal of Electrical and Computer Engineering, 2020, 1–9. doi:10.1155/2020/9653470

[4] Korpas D, Halek J, Dolezal L (2009) Parameters describing the pulse wave. Physiol Res 58(4):473 Lehrer, P. M. (2007). Biofeedback training to increase heart rate variability. In P. M. Lehrer, R. M. Woolfolk, & W. E. Sime (Eds.). Principles and practice of stress management (3rd ed.). New York: The Guilford Press.

[5] Elgendi M (2012) On the analysis of fingertip photoplethysmogram signals. Curr Cardiol Rev 8(1):14–25

Наук. керівник - асистент Яковенко І.О.

УДК 535.2:616-7

К.В. Горбатенко, студентка гр. ПБ-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АЛГОРИТМ ФОТОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВОГО СВІТЛОРОЗСІЯННЯ В МЕДИЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ

Анотація. В даній роботі розглянуто особливості застосування фотометричного аналізу просторового світлорозсіяння біологічним об'єктом для медичної діагностики. Проаналізовано основні технічні засоби для отримання даних, а також особливості проведення модельного експерименту та наближення його до реального. Виділено основні недоліки алгоритму просторового аналізу світлорозсіяння та на основі методу перетинів запропоновано шляхи їх усунення.

Ключові слова: індикатриса розсіяння, просторова фотометрія, метод перетинів.

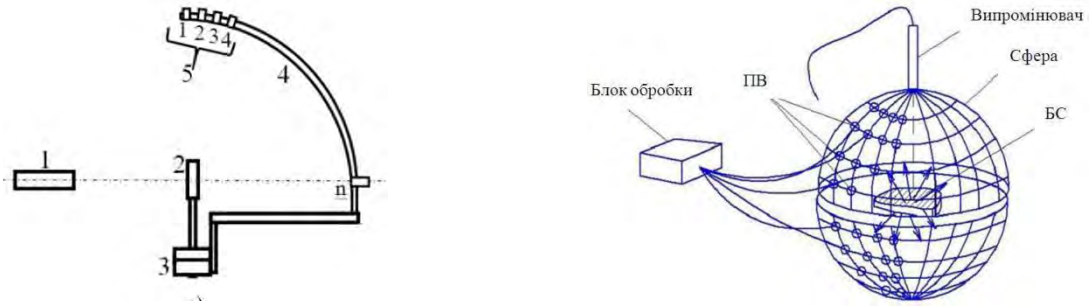
ВСТУП

Актуальним питанням сьогодення є підвищення точності роботи апаратури та систем для проведення медичної діагностики, що базується на використанні аналізу розсіяння оптичного випромінювання. Дана методика лежить в основі оптичної когерентної томографії, оптичної мамографії, а також методів лазерної терапії. Найбільш детальним та точним є просторовий аналіз, який враховує структурні особливості біологічного об'єкту, а саме розміщення волокон, форму структурних елементів, їх розміри, щільність та ін., що змінюються залежно від фізіологічного стану досліджуваного об'єкту.

ОСНОВИ МЕТОДУ ПРОСТОРОВОГО СВІТЛОРОЗСІЯННЯ

Метод та засіб реалізації дослідження просторового розсіяння випромінювання зразком тканини або органу базується на його здатності пропускати випромінювання, що залежить від структури досліджуваного біологічно середовища (БС). В залежності від структури БС поділяються на оптично прозорі, непрозорі та «мутні», і саме відповідно до їх оптичних параметрів залежать отримані коефіцієнти відбивання, пропускання та розсіювання випромінювання [1]. Більшість БС є оптично «мутними», що значно ускладнює їх аналіз.

Просторовий аналіз полягає в одночасному досліджені розсіяного БС випромінювання у межах повного тілесного кута для мутних середовищ. Такий метод дослідження може бути технічно реалізований на базі гоніометричної установки, при цьому виникає потреба при переміщенні приймача або освітлювача (рис.1,а), або на основі установки у вигляді сфери, по твірні якої розміщені фотоприймачі (рис.1,б) [2]. Недоліком установок першого типу є тривалий час проведення, а другого – «сліпі» зони, де реєстрація випромінювання є неможливою.



а) б)

Рисунок. 1. Структурна схема прототипу системи просторової фотометрії біологічних середовищ

Модельний експеримент реалізований за допомогою програмного забезпечення (ПЗ) «BT_mod», що дає змогу на основі оптичних параметрів БС (пропускання, розсіяння та фактору анізотропії), його товщини, а також параметрів пучка лазерного випромінювання (форми та діаметру) визначити коефіцієнти дифузного пропускання та відбиття, отримати фотометричне зображення, а також отримати файл, що описує вагу фотонів та косинуси їх напрямку після взаємодії з біологічним середовищем [3]. Саме обробка та аналіз останнього файлу дадуть нам уявлення про просторове світлорозсіяння БС, що може бути представлене у вигляді індикатриси розсіяння.

В роботі [4] авторами наведено узагальнений алгоритм отримання просторового аналізу на основі отриманих даних моделювання ПЗ «BT_mod», що модернізований в даній роботі на основі методу перетинів [2]. Реалізована методика за цим алгоритмом [4] дає змогу отримати індикатрису розсіяння в одному перетині. Вхідними даними для моделювання є файли з даними, що описують розсіяння назад та вперед, розмір приймача випромінювання (ПВ), відстань фотометрування (відстань від БС до ПВ), а також кут φ, який визначає перетин дослідження (рис.2). На виході отримують два файли excel з даними, за якими будують індикатрису розсіяння.

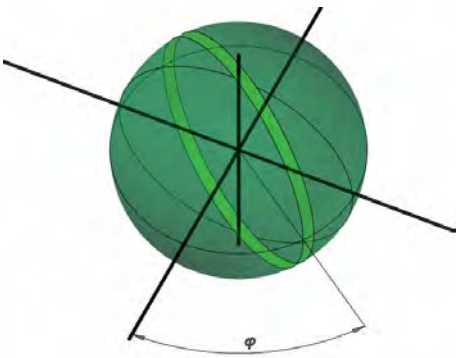


Рисунок 2. Просторовий аналіз за одним сферичним кільцем

Запропонований в роботі [4] аналіз має ряд недоліків. По-перше, для наближення до реального експерименту (рис.1) необхідно кожного разу задавати новий кут та проводити велику кількість ітерацій. По-друге для побудови індикатриси необхідно використовувати інший додаток (Excel, Mathcad або інший графічний редактор). Крім того процес моделювання є довготривалим, оскільки при великій кількості запуску фотонів сам файл має значний розмір, а його завантаження та обробка займає багато часу.

Метою даної роботи є модернізації ПЗ за описаним алгоритмом [4] за рахунок розширення його функціоналу, а саме отримання даних для побудови індикатрис в заданих перетинах одночасно, тобто для декількох кутів φ, а також даних усередненої індикатриси розсіяння. Крім того, планується в тому ж файлі

отримати і самі індикатриси.

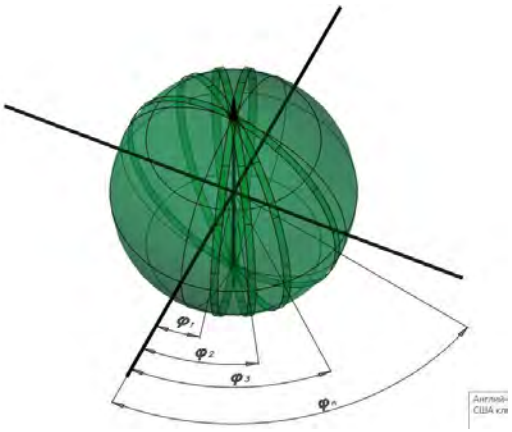


Рисунок 3. Просторовий аналіз за декількома сферичними кільцями

Вирішення даної задачі буде реалізовано шляхом підключення зовнішніх бібліотек для обробки файлів, створення користувацького інтерфейсу та ін. Діаграма прецедентів розроблюваної системи буде виглядати наступним чином (рис. 4)

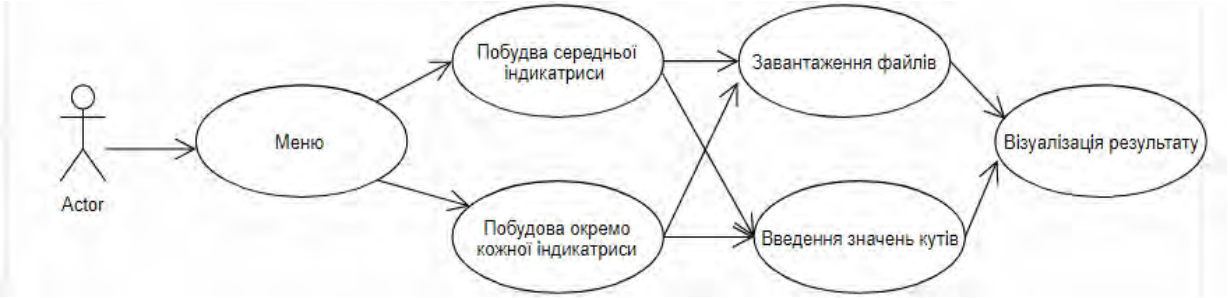


Рисунок 4. Діаграма прецедентів розроблюваної системи

ВИСНОВОК

Запропоноване рішення щодо розширення функціоналу програми дасть змогу автоматизувати процес обробки та аналізу даних просторового світлорозсіяння біологічними середовищами

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Г.В. Симоненко, В.В. Тучин «Оптические свойства биологических тканей» Учебно – методическое пособие. 2007. С. 48.

[2] Безугла Н.В. Просторова фотометрія біологічних середовищ:Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук:05.11.17 Біологічні та медичні прилади і системи/Безугла Наталія Василівна,-Київ 2016. -136 с.

[3] Безуглий, М. О. Еліпсоїдальні рефлектори для фотометрії біологічних середовищ : дис. д-ра техн. наук : 05.11.17 - біологічні та медичні прилади і системи / Безуглий Михайло Олександрович. – Київ, 2020. – 425 с.

[4] M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and D.V. Horban, "Determination the tissue anisotropy factor during the photometry by ellipsoidal reflectors", KPI Science News, no. 4, pp. 1 – 9, 2019.

Науковий керівник: к.т.н., доц. Безугла Н.В.

УДК 611.72:611.731

Д. О. Костін, студент гр. ПБ-81, к.т.н, асистент, Вонсевич К. П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОСТАВИ ЛЮДИНИ

Анотація: У роботі розглянуто існуючі методи моніторингу постави людини та можливі наслідки, що можуть виникати при відсутності своєчасної діагностики профілю осанки. Визначено основні переваги та недоліки існуючих методів, запропоновано функціональну схему нового технічного рішення для постійної діагностики постави. Охарактеризовано основні етапи та модулі для розробки портативної системи моніторингу, визначено подальші напрямки досліджень.

Ключові слова: Постава людини, система моніторингу осанки, сколіоз, міографія.

ВСТУП

Визначення орієнтації тіла людини у просторі використовується у багатьох сучасних дослідженнях та науково-технічних проектах. Розробка спортивного спорядження, військова, ігрова, медична індустрія – це лише частина сфер у яких досліджується питання організації та функціонування біоланок тіла людини та орієнтації їх у просторі. Одним із найбільш актуальних завдань, для вирішення якого орієнтація у просторі використовується безпосередньо є діагностика постави.

Щороку все більша кількість людей страждає від проблем із опорно-м'язовим апаратом, що часто викликані проблемами із осанкою. Неправильна постава зміщує природньо визначену лінію розташування кісток, що призводить до постійної м'язової напруги. Окрім того, викривлення спини може призводити і до порушення в роботі внутрішніх органів. Як наслідок, при постійній зміні положення тіла у просторі та його взаємодії з навколишнім середовищем, людині досить важко контролювати якість своєї постави і виникає потреба її постійного моніторингу, особливо у молодому віці.

Так, згідно аналізу проведеного авторами дослідження [1] серед групи студентів віком до двадцяти років, нормальна постава спостерігається лише серед 33% респондентів. Більше того, подальший тривалий аналіз проведений авторами дав змогу встановити негативну тенденцію до зменшення кількості студентів із нормальною поставою, зі збільшення їх вікової категорії. Серед найчастіших порушень постави, що виникають серед молоді переважають «сколіотична постава», проблема «круглої спини», тощо [1].

Станом на сьогодні, існує декілька інструментальних та аналітичних методів визначення і оцінювання профілю постави людини. Однак, переважна більшість з них потребує використання громіздкої вимірювальної апаратури та спеціальних умов, що унеможливлює постійний моніторинг стану осанки у домашніх умовах.

ІСНУЧІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ПОСТАВИ ЛЮДИНИ

Серед основних методів діагностики і аналізу порушень постави людини можна виділити: фізіологічні, лабораторні, інструментальні та оптичні. Водночас, найбільшу популярність серед існуючих методів здобувають саме дослідження з використання оптико-електронних технологій, найвідомішим серед яких є метод відеометрії. Суть цього методу полягає у використанні

системи, в основі якої лежить матриця з високоточних сенсорів, що дозволяють проводити оцінювання розподілу тиску на кожну частину спини дистанційно [2], збільшуючи тим самим портативність методу та зручність його застосування. Опис методів визначення постави людини [3], особливості їх практичного застосування, окремі переваги і недоліки наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Основні методи дослідження постави людини

№	*Назва*	*Опис методу*
1	Тест Адамса з нахилом вперед	Метод візуального аналізу, що застосовується для виявлення прихованого сколіозу серед пацієнтів зі схильністю до патологій постави. Однією з переваг методу є його простота (що дозволяє застосування тесту навіть не медичними працівниками), а недоліком – низька загальна ефективність.
2	Клітинна діелектрична спектроскопія	Дослідження мононуклеарів периферії крові для визначення рівня мелатоніну, пов'язаного із виникненням сколіозу [2]. Високоефективний метод дослідження будь-яких видів сколіозу, що має досить значну організаційну і економічну складність.
3	Сколіометрія	Метод, що ґрунтується на застосуванні спеціального приладу – сколіометру. Потребує додаткової підготовки спеціаліста, який проводить дослідження та характерний досить складним алгоритмом проведення вимірювань.
4	Радіологічні методи (ренгентографія, томографія)	Технологія визначення профілю постави, внаслідок дозованого опромінення пацієнтів. Один із найбільш точних методів діагностики, що визначається: високою вартістю процедури і вимірювальної установки, променевим навантаженням і складністю в інтерпретації результатів, необхідністю у висококваліфікованому персоналі.
5	Оптичні методи (топографія, фотограмметрія, відеограмметрія, відеореєстрація стереометричного зображення)	Базуються на мануальній чи автоматизованій обробці цифрових даних. Серед недоліків методу виділяють низьку точність обробки виміряних даних, зокрема серед пацієнтів із підвищеною вагою (чи з дуже сильно худобою), асиметрією м'язів та патологіями у поперековому відділі хребта.
6	Новітні методи постійного моніторингу (система типу «Розумний рюкзак», реабілітаційний корсет, тощо).	Характеризуються конструктивною складністю та необхідністю постійного використання для належного моніторингу осанки. Окрім того, такі системи як «реабілітаційний корсет», потребують призначення лікарем і можуть бути шкідливими при їх некоректному розташуванні на тілі пацієнта [4].

Як видно з табл. 1, навіть при широкому різноманітті методів та засобів

діагностики постави людини, досі актуальним залишається питання розробки високоточної портативної системи постійного моніторингу осанки, що була б зручною у повсякденному використанні та не потребувала спеціальних призначень чи специфічної вимірювальної апаратури. Саме тому, в роботі запропоновано розробку нового технічного рішення для постійного моніторингу постави людини.

РОЗРОБКА ПОРТАТИВНОЇ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

Проведення діагностичних вимірювань профілю постави включає в себе одночасний запис інформації із декількох типів сенсорів з метою їх подальшої обробки. Однак, продуктивність використання типових методів постійної діагностики може зменшуватись внаслідок можливого зміщення вимірювальних датчиків у процесі їх фактичної експлуатації (особливо при використанні натільних приладів). Як наслідок, незважаючи на те, що постійний моніторинг є успішним в ідеальних випадках (при тестуванні в лабораторних умовах), в реальній практиці надважливим є прецизійне розміщення сенсорів та розробка конструктивного рішення, що дозволить надійно закріпити вимірювальну апаратуру на відповідній частині тіла пацієнта, не збільшуючи при цьому загальні розміри системи.

Функціональна схема запропонованої системи моніторингу показана на рис. 1.

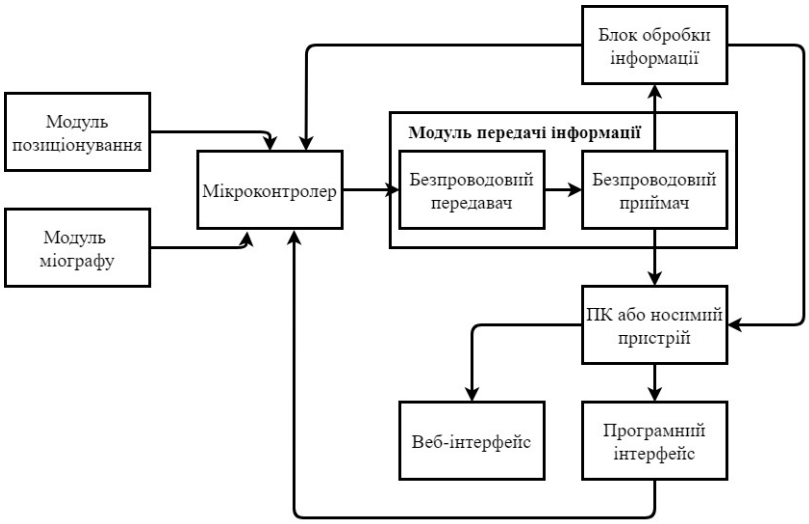


Рисунок 1. Функціональна схема системи постійного моніторингу осанки людини

Як видно з рис. 1, запропонована система включає в себе: модуль 3-х осьового акселерометру та гіроскопу (модуль позиціонування), міогафічний модуль, мікроконтролер, модуль обробки інформації (з використанням технологій машинного навчання), бездротовий модуль передачі інформації, програмний інтерфейс для користувача, веб-інтерфейс для зберігання виміряних даних. Характерною особливістю запропонованої системи є комбіноване використання не лише даних про позиціонування вимірювальної апаратури (та, як наслідок, частини тіла пацієнта) у просторі, а й інформації про стан окремих груп м'язів (на базі міографічних досліджень [5, 6]) з метою прогнозування

подальшого стану осанки пацієнта (базуючись на виміряних статистичних даних) з допомогою методів машинного навчання [7].

У подальших дослідженнях авторами планується проектування конструкції та виготовлення комбінованої портативної системи для вимірювання міографічного сигналу м'язів спини і збору даних про позиціонування тіла пацієнта у просторі.

ВИСНОВКИ

Порушення постави у людей різного віку є одним із важливих питань сучасної травматології та ортопедії. Найчастіше, з метою виявлення порушень профілю постави, використовують діагностичні методи із застосуванням громіздкої вимірювальної апаратури. А завдання створення портативної системи постійного моніторингу осанки, що була б доступною для звичайного користувача, й досі залишається актуальним.

У представленій роботі авторами було здійснено аналіз основних методів дослідження постави людини. Розглянуто переваги та недоліки їх реалізації, визначено основні обмеження при застосуванні. На основі проведеного аналізу, запропоновано функціональну схему портативної системи постійного моніторингу стану осанки, визначено основні завдання та складнощі, що повинні бути вирішені при її розробці, визначено подальший напрямок досліджень для реалізації запропонованої системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Кашуба В. Просторова організація тіла людини в процесі моніторингових досліджень / 1. Кашуба В, Лопацький С, Хабінець Т. – "Фізична культура та фізичне виховання різних груп населення" – 2017. – №1 – с. 4-5

[2] Попова Т. В, Владзимирський А.В. Сучасний погляд на проблему діагностики порушень постави у дітей та підлітків. – НДІ травматології та ортопедії Донецького медичного університету ім. М. Горького / Журнал «Травма» — 2010. — №5 — с. 2-3.

[3] Akoume M.Y, Azeddine B, Turgeon I, Franco A et al Cell-based screening test for idiopathic scokiosis using cellular dielectric spectroscopy. Spine — 2010 — с. 35.

[4] Носов П. С, Яланський А. Д, Яковенко В. О. Проектування 3Д моделі реабілітаційного корсету як засобу комп'ютерної діагностики постави / Восточно-Європейський журнал передовых технологій – 2013. – №1 – с. 1-2.

[5] Vonsevych, K. (2017). Information-measuring system of myograph of bionic limb prosthesis. Perspektyvni Tekhnolohii ta Prilady, 10(1), 32-37.

[6] Вонсевич К. П. Міографічна система біонічної руки з оптичною ідентифікацією типу поверхні : дис. канд. техн. наук : 05.11.17 / Вонсевич Костянтин Петрович – Київ, 2020. – 180 с.

[7] K. Vonsevych, M. Goethel, J. Mrozowski, "Fingers movements control system based on artificial neural network model", Radioelectronics and Communications Systems, №. 1, Т. 62, С. 23–33, 2019.

Наук. керівник – к.т.н., асистент, Вонсевич К.П.

УДК 621.391

А.В. Коцюбайло, студент гр. ДК-72
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ БІОПОТЕНЦІАЛІВ СКЕЛЕТНИХ М'ЯЗІВ

Анотація. Метою даної роботи була розробка схеми електричної принципової для обробки сигналів ЕМГ. Схема отримує ЕМГ-сигнали з поверхні шкіри за допомогою біполярних електродів, що дозволяє людині з утраченою кінцівкою ефективно контролювати протезом. Сигнал ЕМГ вимагає підсилення, обмеження діапазону та випрямлення, перш ніж його можна буде подавати до аналого-цифрового перетворювача (АЦП), а згодом - і до контролеру самого протезу.

Ключові слова: ЕМГ, Обробка сигналів, Диференційний підсилювач, Смуговий фільтр.

ВСТУП

В 2008 році було зафіксовано, що понад 10 мільйонів людей зазнали ампутації кінцівок. І ця кількість з кожним роком збільшується. Відповідно розробка та вдосконалення протезів є наразі важливим питанням.

При ампутації верхніх кінцівок, внаслідок травми або захворювання, проксимальна частина м'язових тканин в більшості випадків залишається. Електричну активність цих м'язів можна виміряти за допомогою електроміографії (ЕМГ). Ці сигнали можуть бути використані для контролю руху кінцівок самого протезу. Саме тому точні вимірювальні системи для виявлення електричного сигналу, що генерується електрохімічними ефектами в м'язі здатні забезпечити збільшення діапазону можливих рухів самого протезу.

Метою роботи є розробка схеми електричної принципової одноканального пристрою, який здатний точно вимірювати біопотенціали м'язів, що може стати основою для дослідження м'язів та створення протезів.

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ БІОПОТЕНЦІАЛІВ СКЕЛЕНТНИХ М'ЯЗІВ

Обробка сигналів. Амплітуда сигналів ЕМГ, виміряних на м'язі, зазвичай коливається від 0 до 10 мВ змінного струму (peak-to-peak) або від 0 до 1,5 мВ (середньоквадратичне значення). Однак, при вимірюванні поверхневими електродами великий імпеданс шкіри може знизити сигнал до 0-2 мВ змінного струму. Для приведення цього сигналу до значення, з яким працює АЦП, потрібно посилити сигнал інвертуючим або неінвертуючим підсилювачем.

Іншим важливим компонентом є диференційний підсилювач, який видаляє синфазний сигнал (або складову), притаманну шуму [1].

Корисний частотний спектр ЕМГ-сигналів охоплює діапазон 0-500 Гц, причому більшість корисних сигналів потрапляють в діапазон 50-150 Гц. Однак, при вимірюванні ЕМГ у цьому діапазоні, ряд джерел завад суттєво погіршують якість сигналу. При вимірюванні поверхневими електродами, дроти та металеві контакти самого електроду працюють по принципу антени, вловлюючи завади від джерела перешкод [2]. Окрім зовнішніх перешкод, є ще перешкоди спричинені рухом самих електродів та згинанням електродного кабелю. Щоб значно зменшити вплив цих джерел електричних перешкод і поліпшити загальну якість сигналу ЕМГ, можна реалізувати кілька різних варіантів схем. Перша

схема, яка часто використовується, - це диференціальний підсилювач, який застосовує конструкцію електрода з двома джерелами, у поєднанні з еталонним заземленням (це третій електрод, який розміщується на ділянках, де не має зміни потенціалів, таких як зап'ястя або лікоть), і дозволяє усунути значну кількість шуму за допомогою процесу, відомого як загальний режим відхилення сигналу (Рис.1.). Слід зазначити, що для вимірювання міоелектричного сигналу, як правило, рекомендується використовувати операційні підсилювачі, які мають CMRR (коефіцієнт відхилення загального режиму) 90 дБ або більше (в нашому пристрої використовується підсилювач AD620AR з CMRR = 100 дБ з низькими шумовими характеристиками)[3].

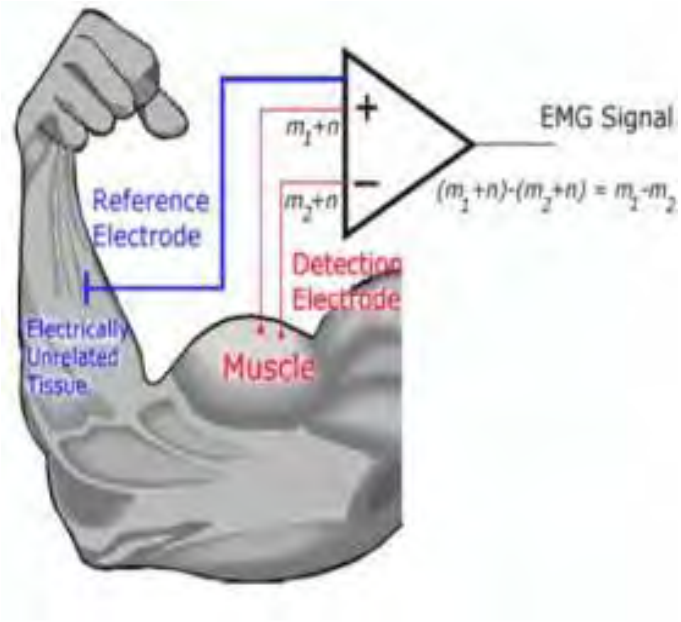


Рис.1. Підключення електродів для вимірювання біопотенціалів

Для видалення небажаного шуму від джерел, що працюють на більш високих частотах, використовується активна схема фільтра. Активні схеми фільтрів включають: активний низькочастотний, активний високочастотний фільтри, а в поєднанні - активний смуговий фільтр. Основна перевага використання активних фільтрів полягає в тому, що вони не тільки допускають виділення корисної частоти, але також можуть реалізувати посилення сигналу. Для пристроїв з малим потенційним сигналом ЕМГ це корисна властивість. Фільтри високих і низьких частот дозволяють лише певній смузі проходити через ланцюг, тоді як всі інші частоти фільтруються. Бажану смугу пропускання можна спеціально встановити, регулюючи резистивне та ємнісне значення для схеми. Враховуючи вище згадані діапазони частоти ЕМГ та перешкод, спричинених рухом електродів, було б доречніше розробити смуговий фільтр з пропускною полосою 20-500 Гц.[4] Для усунення перешкод, що утворюються від змінної напруги живлення, можна використати режекторну фільтрацію. Цей метод передбачає застосування режекторного фільтру для видалення конкретних частот з дуже вузькою смугою подавлення. Також важливо перетворити сигнал ЕМГ змінного струму на сигнал постійного струму. Цю операцію можна виконати за допомогою активної схеми випрямляча. Запропонована структурна

схема обробки сигналу ЕМГ представлена на Рис.2. АЦП та передача вихідних даних буде передаватись на персональний комп'ютер за допомогою UART протоколу (використовуючи додатково USB-UART перетворювач)[5].В даній роботі використовується мікроконтролер STM32F103, який має АЦП та UART.

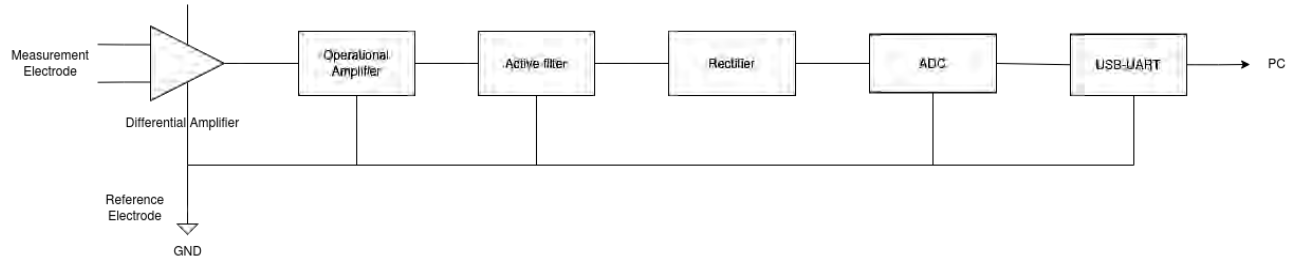
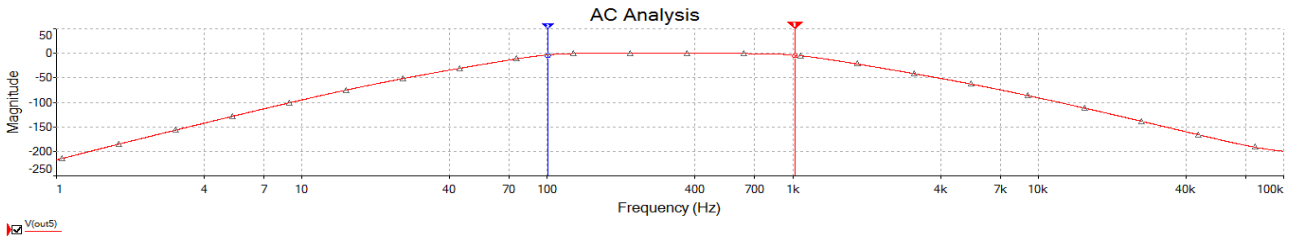
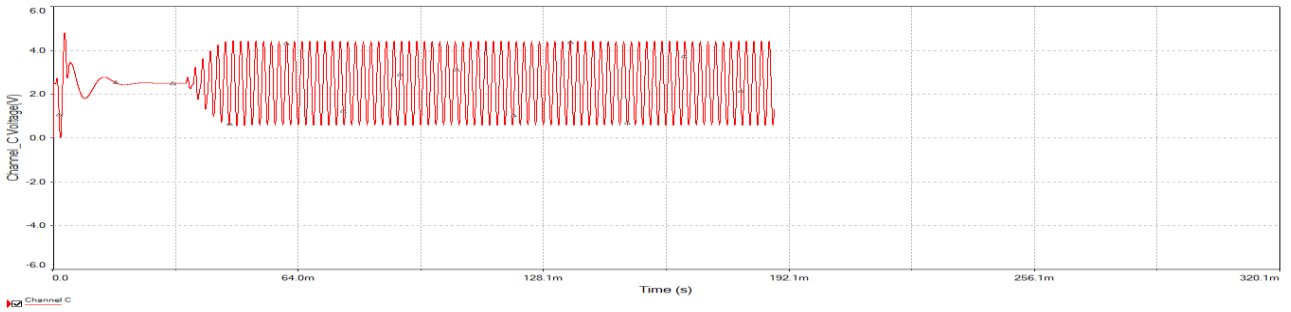


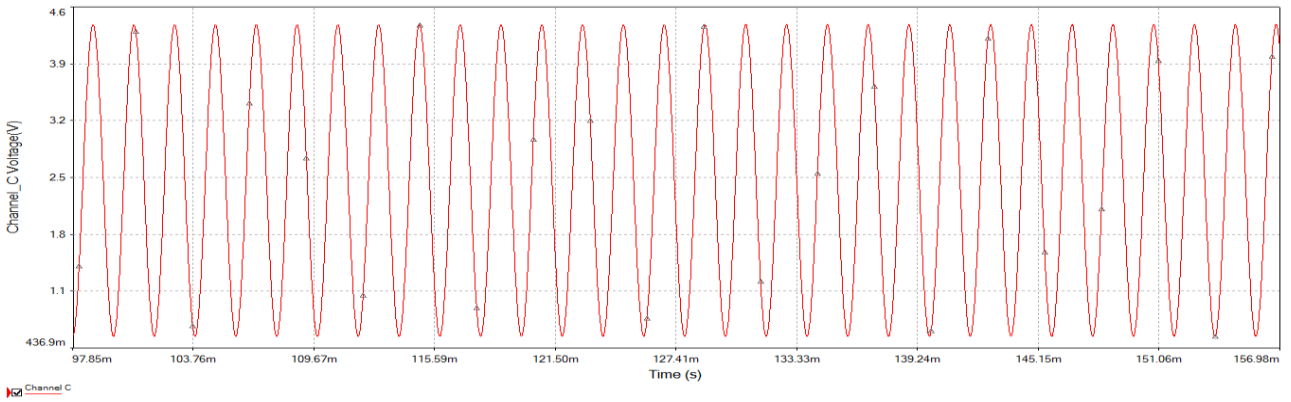
Рис.2. Структурна схема обробки сигналу ЕМГ



а)



б)



в)

Рис.3. Результати моделювання в середовищі ModelSim (а- АЧХ смугового фільтру; б - робочий режим; в- фрагмент відпрацювання гармонійного сигналу)

ВИСНОВОК

В даній роботі розглянуто спосіб обробки сигналів ЕМГ з урахуванням можливих завад. На основі цих даних було розроблено структурну схему, за якою було запропоновано схему електричну принципову. Будо проведено моделювання схеми диференційного підсилювача та смугового фільтру в середовищі MultiSim. Результати моделювання проілюстровані на Рис.3. На основі симуляції і розробленої схеми електричної принципової планується розробити друковану плату і дослідити біопотенціали різних частин тіла порівнюючи з електроміграмою зробленою в лікарні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Capacitive Sensing of Surface EMG for Upper Limb Prostheses Control [Електронний ресурс] // Elsevier Ltd. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816335007.

[2] Lee S. Biopotential Electrode Sensors in ECG/EEG/EMG Systems [Електронний ресурс] / S. Lee, K. John. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/ECG-EEG-EMG_FINAL.pdf.

[3] Bio-amplifier with Driven Shield Inputs to Reduce Electrical Noise and its Application to Laboratory Teaching of Electrophysiology [Електронний ресурс] / Y.Matsuzaka, T. Ichihara, T. Abe, H. Mushiake. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/236057039_Bio-amplifier_with_Driven_Shield_Inputs_to_Reduce_Electrical_Noise_and_its_Application_to_Laboratory_Teaching_of_Electrophysiology.

[4] The Piezo-resistive MC Sensor is a Fast and Accurate Sensor for the Measurement of Mechanical Muscle Activity [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6539344/.

[5] The Design of EMG Measurement System for Arm Strength Training Machine [Електронний ресурс] / [H. Tze-Yee, C. Yuan-Joan, H. Wei-Chang та ін.]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://core.ac.uk/download/pdf/193653847.pdf.

Наук. керівник – ст. викл. Антонюк О.І.

УДК 535.2 : 004.93.12

А.І. Нагорний студент гр. ПБ – 92мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ФОТОМЕТРІЇ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

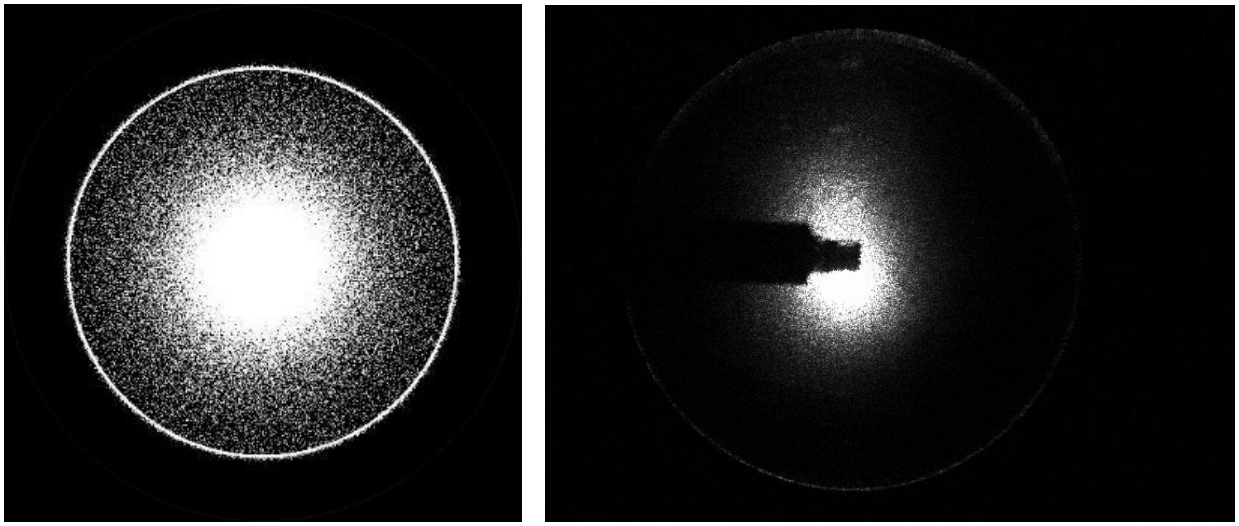
Анотація. У роботі представлено способи отримання фотометричних зображень, існуючу методику аналізу та її проблематику, для покращення точності та швидкості обробки запропонований алгоритм на основі бібліотеки комп'ютерного зору.

Ключові слова: фотометричне зображення, еліпсоїдальний рефлектор, зона інтересу, OpenCV.

ВСТУП

Одним з методів дослідження особливостей взаємодії світла з біологічним об'єктом є фотометрія з використанням еліпсоїдальних рефлекторів. Даний метод дослідження може бути використаний для визначення таких величин, як коефіцієнт поглинання μ_a, коефіцієнт розсіяння μ_s, а також фактор анізотропії g [1, 2]. Фотометрія еліпсоїдальними рефлекторами може бути застосована для контролю якості просвітлення, виведення татуювань, вимірювання рівня цукру в крові та в інших дослідженнях [3 - 5]. Основною особливістю даного підходу є використання еліпсоїду обертання в якості оптичного елементу, який передає пляму розсіяння з поверхні біологічного об'єкту до системи, яка формує фотометричне зображення [1].

Зображення можна отримувати в результаті проведення реального експерименту та шляхом моделювання за допомогою програми «BT_mod» [1]. Дана програма дозволяє моделювати зображення з урахуванням різних факторів. Для отримання фотометричного зображення (рис. 1а) необхідно задати фокальні параметри еліпсоїда, параметри, що характеризують джерело світла, у нашому випадку кількість запущених фотонів, а також параметри які описують біологічний об'єкт.



а) б)

Рисунок 1. Фотометричні зображення, а) - отримане за допомогою моделювання, б) - отримане в ході реального експерименту.

З рис. 1.а видно, що фотометричне зображення, отримане при моделюванні, є квадратом, а коло, що окреслює зону інтересу, розташоване по центру картинки, внаслідок чого аналіз зображення значно спрощується. Яскраві пікселі рівномірно розподілені по всій площі зони інтересу.

Експериментальне зображення отримується за допомогою фотометричної установки, і має наступні особливості, центр круга може бути зміщений відносно центру картинки, сама картинка має прямокутну форму внаслідок типового розміру кадру ПЗС камери (рис. 1.б).

Для аналізу картинку розбивають на кільця – зони інтересу [6]. Існуюче програмне забезпечення для обробки подібних фотометричних зображень дозволяє здійснювати обробку шляхом визначення оператором необхідної області, що не гарантує того, що центри кіл будуть збігатись, тим самим підвищуючи випадкову похибку. Саме тому актуальною є розробка алгоритму з використанням комп'ютерного зору, який дозволить автоматизувати процес обробки.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ

Для розробки алгоритму та його апробації взяті зображення, отримані при просвітленні м'язової тканини свині поліетиленгліколем 400, особливості отримання фотометричного зображення та подальший аналіз при просвітленні аналогічний наведеним у роботі [3].

З існуючих інструментів комп'ютерного зору було обрано бібліотеку з відкритим кодом «OpenCV» оскільки вона дозволяє розробляти на операційних системах Windows, Linux, MacOS, та легко інтегрується в мобільні платформи Android, IOS. Окрім того, бібліотека має кодову базу на таких мовах як Python, Java, C, C++, Matlab. Для простоти програмної реалізації та оптимальної швидкості виконання алгоритму було використано мову програмування C++.

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У результаті роботи розроблене програмне забезпечення, загальний алгоритм роботи якого представлений на рис.2.

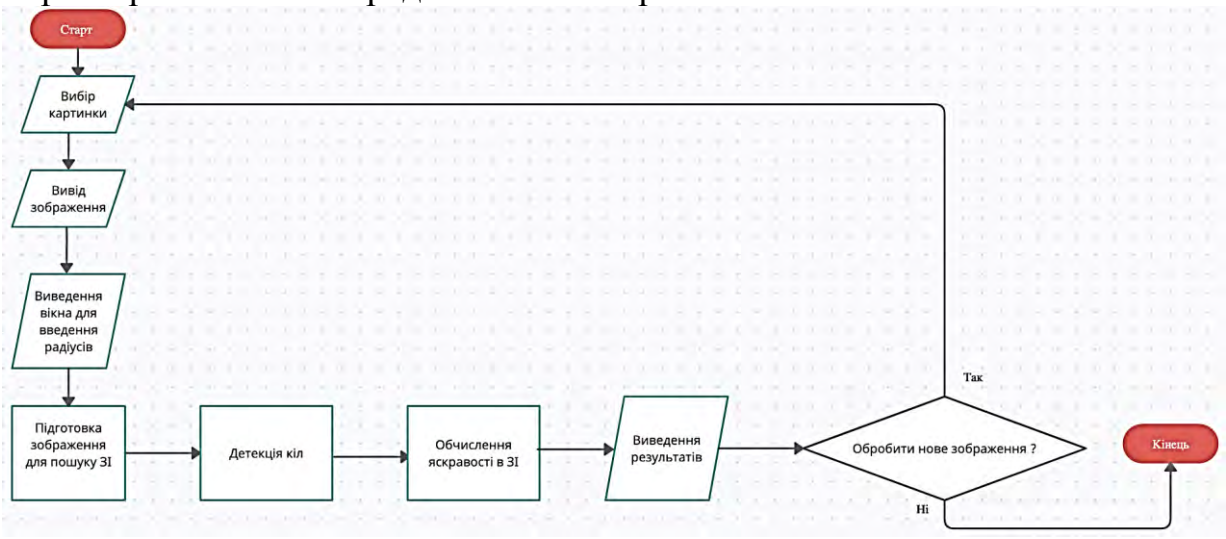


Рисунок 2. Блок схема роботи алгоритму.

На першому етапі роботи оператор вибирає та завантажує необхідне зображення. Далі варто ввести радіус найменшого кружка, який дорівнює номінальному радіусу пучка лазеру. Наступним кроком є конвертація зображення у відтінки сірого та фільтрація шумів. Найважливішим і водночас найскладнішим етапом є пошук зони інтересу [4]. Для початку необхідно знайти центр та радіус кола A1, що окреслює контур краю рефлектора (рис. 3). Для цього застосовується алгоритм Канні, API для роботи з яким надає бібліотека «OpenCV» [6, 7]. Для покращення результатів необхідно попередньо задати максимальний та мінімальний можливий радіус.

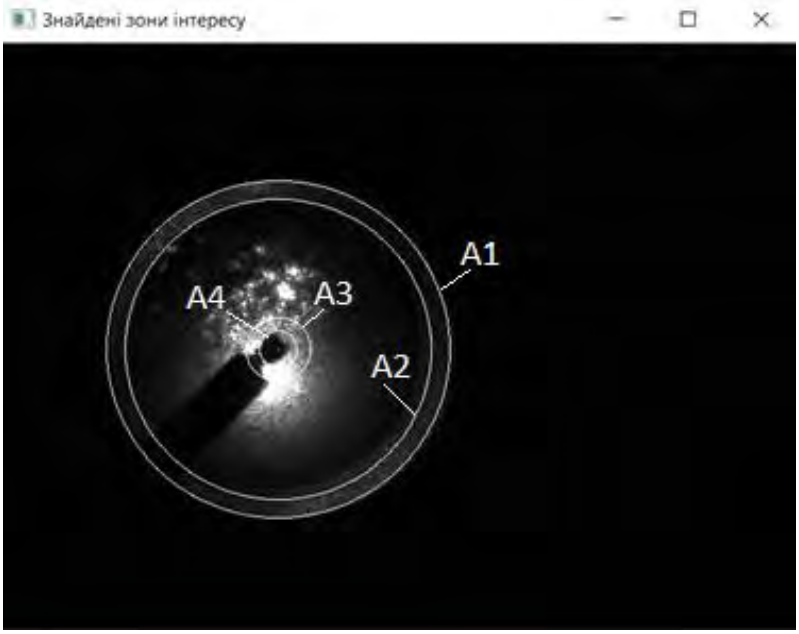


Рисунок 3. Фотометричне зображення, отримане експериментально зі знайденими зонами інтересу за допомогою розробленого алгоритму.

Як згадувалось вище, радіус кола A4 є константою і вводиться оператором після завантаження зображення. Для знаходження кола A2, від кола A1 радіусом на 1 піксель менше будується коло із шириною лінії також 1 піксель, сумарне значення яскравості пікселів, що лежать на лінії кола, ділиться на їх кількість, це значення та радіус кола записують до масиву. Коло A2 буде такого радіусу, при якому перепад яскравості між двома сусідніми значеннями буде найбільший. Даний підхід може працювати із обмеженою точністю оскільки центри кіл A2 та A1 можуть не співпадати. Коло A3, яке лежить між колом A4 та A2, фіксується таким чином аби площа круга була мінімальною при максимальній сумарній яскравості пікселів, що до неї входять. Для цього використовуємо цикл, при кожній ітерації зменшуємо радіус на один піксель, обчислюємо значення яскравості всіх пікселів, які потрапляють у коло, і ділимо на площу та записуємо у масив. Таким чином, після всіх ітерацій маємо масив середньої яскравості та радіусів, знаходимо в ньому найбільше значення та радіус при цьому значенні.

Далі обраховується сума яскравості пікселів, що входять в ту чи іншу зону. Завершальним етапом є вивід вікна з картинкою та знайденими зонами на ній, а також значення яскравості по зонам. У оператора є можливість або завершити програму або проаналізувати нову картинку.

ВИСНОВОК

У даній роботі було розглянуто методи отримання фотометричного зображення, існуючі підходи до обробки та аналізу зображень. На базі бібліотеки «openCV» розроблено алгоритм, який дозволяє автоматизувати процес визначення зон інтересу, та обрахувати яскравість в знайдених областях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Безуглий, М. О. Еліпсоїдальні рефлектори для фотометрії біологічних середовищ : дис. д-ра техн. наук : 05.11.17 - біологічні та медичні прилади і системи / Безуглий Михайло Олександрович. – Київ, 2020. – 425 с.

[2] Тучин, В.В. Исследование биотканей методами светорассеяния. Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167. – С. 517–539.

[3] M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and A.I. Nagornyi, "Control of optical clearing of biological tissue by ellipsoidal reflectors method", Microsystems. Electronics and Acoustics, vol.24, no.2, pp. 6 – 13, 2019.

[4] Безугла, Н. В. Просторова фотометрія біологічних середовищ : дис. к-та техн. наук : 05.11.17 - біологічні та медичні прилади і системи. Київ, 2016. – 135 с.

[5] Д.В. Бондарєв, М.О Безуглий, "Конструювання дерматоскопу на засадах фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами", на Науково-практичній конференції «Лазерні технології в клінічній медицині: сучасні тенденції розвитку в Україні», Черкаси, 2017, с. 263-264.

[6] John Canny. A computational approach to edge detection // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1986. – V. 8, № 6. – P. 679–698.

[7] Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. – М.: Техносфера, 2005. – 1070 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Безуглий М.О.

УДК 535.2:616-71

С.О. Полуектов, студент гр.БП-71.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВПЛИВ ФАКТОРУ АНІЗОТРОПІЇ НА ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ РОЗСІЯННОГО СВІТЛА ЕПІДЕРМІСОМ ЛЮДИНИ НА ДОВЖИНІ ХВИЛІ 632.8 НМ

Анотація: У роботі представлені результати модельного дослідження впливу фактору анізотропії на просторовий розподіл розсіяного світла в прямому та зворотному напрямках для пласких зразків епідермісу людини на довжині хвилі лазерного випромінювання 632.8 нм.

Ключові слова: індикатриса розсіяння, фактор анізотропії розсіяння, епідерміс, просторовий розподіл.

ВСТУП

Біологічні тканини є оптично неоднорідними поглинаючими середовищами із середнім показником заломлення більшим, ніж у повітря, тому на межі поділу «біологічний об'єкт – повітря» частина випромінювання відбивається, а інша частина проникає в біотканину [1]. Об'ємне розсіяння є причиною поширення значної частки випромінювання в зворотному напрямку (зворотне розсіяння). Ця властивість істотно знижує можливості вимірювальних засобів, у тому числі томографічних систем, обмежуючи глибину зондування (максимальна відстань від поверхні середовища до неоднорідності того чи іншого типу, де вона ще може бути виявлена) і мінімальний розмір об'єктів, зображення яких може бути отримане. Окрім того, для визначення оптимальної довжини хвилі і побудови алгоритмів вирішення зворотних задач томографії необхідні апріорні дані про оптичні властивості досліджуваних тканин [2]. Таким чином, дослідження просторового розсіяння лазерного світла в оптично мутних біологічних середовищах залишається актуальним.

Однією з основних характеристик при вивченні світлорозсіяння є індикатриса, тобто залежність інтенсивності від кута розсіяння. Вимірювання індикатриси полягає в освітленні біологічного об'єкту пучком світла і реєстрації розсіяного випромінювання під різними кутами в межах повного тілесного кута. Для задач біофотоніки найбільш прийнятним вважається застосування колімованого світла, тому доцільно використовувати лазерні джерела, що забезпечують значну направленість і високу інтенсивність випромінювання [2].

При розсіянні фотона напрямок його поширення змінюється на випадковий кут, який має певний розподіл ймовірності, яке і вважають фазовою функцією, тобто фазова функція визначає ймовірність того, що фотон, що летить в напрямку поширення світла, після розсіяння змінить свій напрямок з ймовірністю g [3]. Параметр g – фактор анізотропії розсіяння – характеризує фазову функцію ймовірності і є середнім косинусом кутів розсіяння. Значення g змінюється від - 1 до 1, причому g = 0 відповідає випадку ізотропного (розсіяння Релея) розсіяння, а g = 1 – повного розсіяння вперед (розсіяння Мі на великих частинках). Найбільш частою при моделюванні анізотропного розсіяння є фазова функція Хені-Грінштайна, яка безпосередньо включає фактор анізотропії [4].

МЕТА РОБОТИ

Дослідити залежність зміни просторового розподілу розсіяного світла вперед і назад пласким зразком епідермісу людини в залежності від величини фактору анізотропії розсіяння на довжині хвилі 632.8 нм.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Біологічні тканини є оптично неоднорідними, тому при поширенні випромінювання в них істотну роль відіграють процеси світлорозсіяння. Основними оптичними властивостями мутних середовищ, відповідно до теорії переносу випромінювання, є коефіцієнти розсіяння μ_s та поглинання μ_a, показник заломлення n і фактор анізотропії розсіяння g [4, 6]. У таблиці 1 наведенні значення оптичних властивостей для епідермісу людини на довжині хвилі 632.8 нм. Моделювання здійснено методом Монте-Карло [5] для трьох зразків епідермісу товщиною 3.5 мкм, 38 мкм та 72.6 мкм, які характеризують різні місця розташування ділянки шкіри на тілі людини.

Таблиця 1. Вхідні дані моделювання

Оптичні властивості	**Значення**
Коефіцієнт розсіяння	μ_s=45 см$^{-1}$
Коефіцієнт поглинання	μ_a=0.15 см$^{-1}$
Показник заломлення	n=1.34
Товщина зразка	d_1= 3.5 мкм; d_2=38 мкм; d_3=72.6 мкм
Фактор анізотропії розсіяння	g= 0.79…0.89

При модельному дослідженні плаского зрізу епідермісу використовувалось програмне забезпечення «BT_mod», що здійснює симуляцію поширення оптичного випромінювання в біологічній тканині з відомими оптичними властивостями (Табл. 1) [5, 6]. Моделювання здійснено для лазерного пучка діаметром 1.4 мм з номінальною потужністю, тотожною 20 млн фотонів.

Для опису розсіяного випромінювання в межах повного тілесного кута часто використовують поняття фотометричної поверхні, яку можна уявити, як поверхню, утворену кінцями векторів, довжина яких дорівнює силі світла в даному напрямку [2]. Таким чином, фотометрична поверхня характеризує розподіл сили світла в просторі. При розгляді розсіяння у площині доцільно здійснити фотометрію за методом перетинів [7], отримавши при цьому усереднену індикатрису розсіяння за перетинами, що відповідають азимутальним кутам 0˚, 60˚ і 120˚. На рис. 1 передавлені графіки індикатриси розсіяння для зразків епідермісу людини товщиною 3.5 мкм, 38 мкм та 72.6 мкм для значення фактору анізотропії розсіяння 0.83. У роботі також здійснено моделювання просторового розподілу розсіяного випромінювання для діапазону змін фактору анізотропії 0.79…0.89 з кроком 0.01.

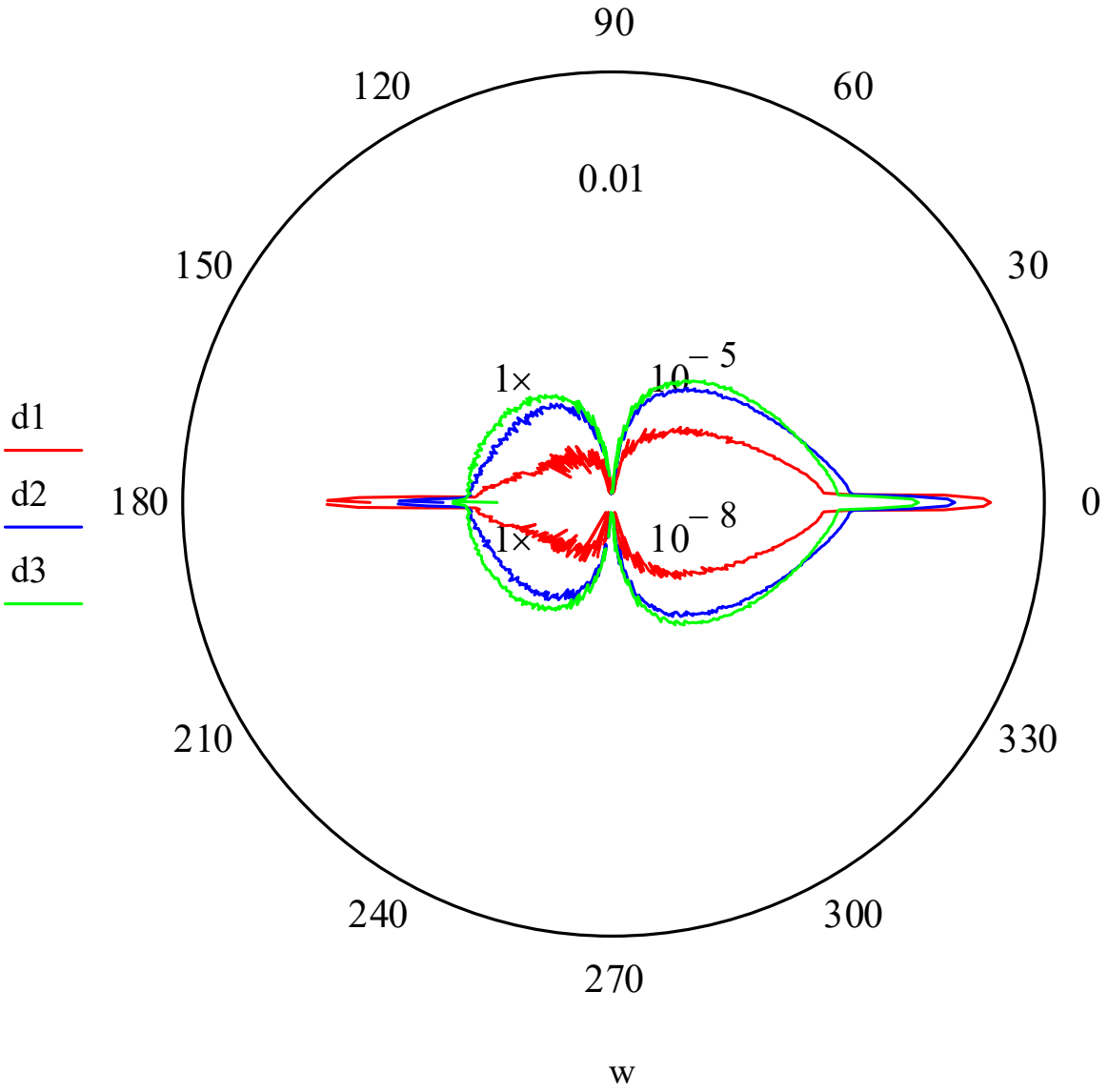


Рисунок 1. Індикатриса світлорозсіяння зразками епідермісу товщиною d_1=3.5 мкм, d_2=38 мкм та d_3=72.6 мкм при факторі анізотропії розсіяння g=0.83

З рис. 1 видно, що колімоване пропускання (направлене розсіяння вперед) та колімоване відбиття (направлене розсіяння назад) зі збільшенням товщини досліджуваного зразка зменшується. При цьому дифузне пропускання вперед значно більше за дифузне відбиття і зі зменшенням товщини плаского зразка епідермісу зменшується.

Індикатриса розсіяння має чітку залежність від товщини зразка, а зі збільшенням фактору анізотропії для епідермісу людини на довжині хвилі 632.8 нм ця залежність стає більш явною. Це відбувається через те, що епідерміс містить колагенові фібрили, які мають поперечну смугастість – чергування темних і світлих ділянок з періодом повторюваності 64–70 нм, показник заломлення яких 1.44–1.47, а базова речовина яка заповнює проміжки між клітинами 1.33–1.36 [1]. Ця різниця між показниками і є основною причиною розсіяння. Тому, виходячи з опису будови біотканини, можна сказати, що вона володіє оптичною анізотропією, для якої характерне розсіяння Мі.

ВИСНОВОК

Розсіяне світло несе інформацію про розміри, форму та орієнтацію структурних елементів тканини, які можуть бути інтерпретовані для вирішення задач пов'язаних з томографічними системами, та системами, де необхідна інформація про поширення світла. У даному дослідженні було проведено моделювання процесу розсіяння світла на довжині хвилі 632.8 нм за допомогою методу Монте-Карло для плаского зразка епідермісу. Отримані дані про індикатрису розсіяння дають уявлення про властивості просторового розподілу світла в біологічних середовищах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Г.В. Симоненко, В.В. Тучин «Оптические свойства биологических тканей»// Учебно – методическое пособие. 2007. С. 48.

[2] И. М. Пеливанов, С. А. Белов, В. С. Соломатин, Т. Д. Хохлова, А. А. Карабутов (2006) Прямое измерение пространственного распределения интенсивности лазерного излучения в биологических средах in vitro оптико-акустическим методом.//Квантовая электроника, том 36, номер 12, 1089–1096

[3] Кочубей В.И., Башкатов А.Н. Спектроскопия рассеивающих сред: Учеб. пособие. – Саратов, 2014. – 87 с.

[4] Кузьмин, В. Л., Вальков, А. Ю., & Зубков, Л. А. (2019). Диффузия фотонов в случайных средах и анизотропия рассеяния в моделях хеньи–гринштейна и рэлея–ганса. //Журнал экспериментальной и теоретической физики, 155(3), 460-471.

[5] Безуглий, М. О. Еліпсоїдальні рефлектори для фотометрії біологічних середовищ : дис. д-ра техн. наук : 05.11.17 - біологічні та медичні прилади і системи / Безуглий Михайло Олександрович. – Київ, 2020. – 425 с.

[6] M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and D.V. Horban, "Determination the tissue anisotropy factor during the photometry by ellipsoidal reflectors", KPI Science News, no. 4, pp. 1 – 9, 2019..

[7] Безугла Н.В. Просторова фотометрія біологічних середовищ // Безугла Н.В., Безуглий М.О., Тимчик Г.С., Шаргородський В.А. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2015. — Т30, №2, — С.40-49.

Науковий керівник – д.т.н., доцент Безуглий М.О.

УДК 57.087

В.В. Терещенко, студент гр. ПБ-82, к.т.н, асистент Вонсевич К.П.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК МІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ

Анотація. У роботі розглянуто принципи функціонування міографії, як методу вимірювання м'язової активності. Описано особливості застосування методу електроміографії у протезуванні кінцівок, а також охарактеризовано алгоритм розрахунку параметрів міографічних сигналів для застосування у біонічних протезах. Визначено основні категорії характеристик, що використовуються для аналізу подібних сигналів. Описано особливості та алгоритм розрахунку спектральних параметрів міо-сигналу. Наведено гістограми двох спектральних характеристик розрахованих для різних рухів долоні та проведено порівняння ефективності їх подальшого застосування.

Ключові слова: міографія, біонічне протезування, спектральний аналіз.

ВСТУП

Для того щоб дослідити характеристики живого об'єкта і окремі параметри його сигналів, доцільно використовувати спеціально-розроблені методи аналізу, залежно від природи біологічного сигналу. Добре вивченим і широко застосовуваним методом вимірювання інформативного сигналу біологічних тканин є поверхнева міографія.

У загальному випадку, міографія являє собою метод вимірювання швидкості та інтенсивності м'язового скорочення у відповідь на подразник, або в процесі виконання деякої фізичної активності м'язу. Залежно від поставленої задачі в дослідженнях можуть використовуватися певні різновиди міографії (тобто, способи визначення активності м'язів за допомогою вимірювання сигналів різного походження: тиск м'язів на поверхню сенсорів, акустичні властивості м'язових волокон, визначення електричного потенціалу, тощо). Водночас, найбільш розповсюдженим методом міографії є поверхнева електроміографія.

Однією з галузей сучасної науки, де метод електроміографії використовується дуже часто є сфера протезування кінцівок. Значна кількість біонічних протезів використовує як сигнали керування імпульси, отримані внаслідок вимірювання і перетворення біологічного сигналу м'язів саме методом електроміографії. При цьому міографічні сенсори розміщуються в певних робочих зонах над поверхнею м'язів, з метою реєстрації певних змін підчас виконання певних видів рухів і в подальшому, візуалізують ці зміни у вигляді сигналу, який в свою чергу піддається обробці і бере участь в створенні керуючих сигналів для виконання рухів робочих механізмів біонічного протезу. Розглянемо основні методи аналізу міографічних сигналів.

МЕТОДИ АНАЛІЗУ МІОСИГНАЛІВ

В загальному, результати вимірювання біологічних сигналів м'язів не можуть бути використані як класифікатори певних рухів кінцівок одразу, після «прямого» вимірювання. Перед визначенням складової сигналу, що буде дійсно корисною для застосування у біонічній кінцівці, необхідно провести набір перетворень із виміряними результатами дослідження. Зокрема, аналіз результатів повинен здійснюватися на певних часових проміжках, а розмір вікна

в яких цей часовий проміжок обирається, залежить від сфери його подальшого застосування. Також проводиться нормалізація виміряних значень сигналу або їх стандартизація.

До категорій характеристик які використовуються для аналізу міографічних сигналів у певному часовому вікні належать: часові, частотні або спектральні характеристики і частотно-часові характеристики. При цьому, часові характеристики є найпростішими і відносно швидкі щодо математичних перетворень і розрахунків. Серед основних часових характеристик, що застосовуються при аналізі міограм у сфері протезування виділяють: максимальне значення амплітуди сигналу, середнє абсолютне значення, інтегроване абсолютне значення, дисперсію функції, середнє абсолютне значення нахилу кривої та багато інших параметрів [1].

На відміну від часових характеристик, частотні та спектральні є набагато більш складними в розрахунках і потребують комплексних математичних операцій таких як: виділення спектру потужності сигналу, визначення частотних коефіцієнтів, медіани частоти і середнього значення. До частотно-часових характеристик що використовуються при аналізі міосигналів можна віднести результати розрахунків, що обули отримані внаслідок перетворень Фур’є в часових вікнах даних, а також простих і пакетних вейвлет перетворень [1]. Розглянемо особливості визначення спектральних характеристик електроміографічного сигналу.

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Дослідження спектральних характеристик є важливим для визначення гармонічного складу сигналу в певних частотних межах із конкретними значеннями параметрів у відповідності з частотою. Визначення таких параметрів дозволяє проводити подальшу обробку сигналу в конкретній частотній області. А при роботі із спектральним виглядом сигналу в частотній області, важливо визначити конкретну числову характеристику відносно якої він буде проводитись подальше порівняння набору сигналів.

Як приклад для розрахунків у роботі було використано набір електроміографічних сигналів, виміряних для різних рухів долоні людини. Перетворення дискретної складової сигналу з часової області вимірювання до частотної було реалізовано шляхом застосування FFT перетворення (або інакше кажучи – швидкого перетворення Фур'є). Швидке перетворення Фур'є – це широко використовуваний метод обробки інформаційних сигналів, що є похідним (прискореним) відносно прямого розрахунку методом розрахунку дискретного перетворення Фур’є [2]. Як набір конкретних числових характеристик спектрального аналізу було розраховано параметри Power spectrum (Power) та Power spectral density (PSD).

Параметр Power визначає односторонній спектр потужності сигналу і обчислюється з ШПФ шляхом квадратування однобічного середньоквадратичного амплітудного спектра за формулою (1):

$$\text{Power spectrum } S_{AA}(f) = \frac{FFT(A) \cdot FFT^{*}(A)}{N} \quad (1)$$

Де N – довжина двостороннього спектру потужності, а FFT*(A) – комплексне спряження FFT (A). Водночас, для утворення комплексного спряження, уявна частина FFT (A) відкидається [3].

Параметр PSD описує, як потужність сигналу або часового ряду розподіляється по частоті [4] та обчислюється за формулою (2):

$$\text{Power spectral density} = \frac{\text{Power Spectrum in } V_{rms}^{2}}{\Delta f \cdot \text{ Noise Power Bandwidth of Window}} \quad (2)$$

Де Power Spectrum – спектр потужності в одиницях середньоквадратичної амплітуди сигналу, Noise Power Bandwidth of Window – пропускна здатність шумової складової часового вікна.

Водночас, складова Δf визначається за формулою (3):

$$\Delta f = \frac{F_s}{N} \quad (3)$$

Де F_s – це частота, на якій було виміряно сигнал у часовій області, а N - довжина двостороннього спектру потужності.

Приклад результатів розрахунку параметрів Power і PSD для поверхневої електроміограми, виміряної підчас виконання рухів долонею «ліворуч» (рис. 1 та 3) та «праворуч» (рис. 2 та 4).

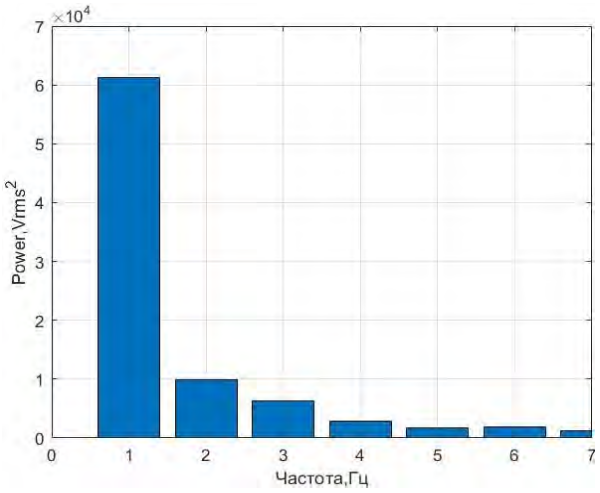


Рисунок 1. Гістограма Power для сигналу С1

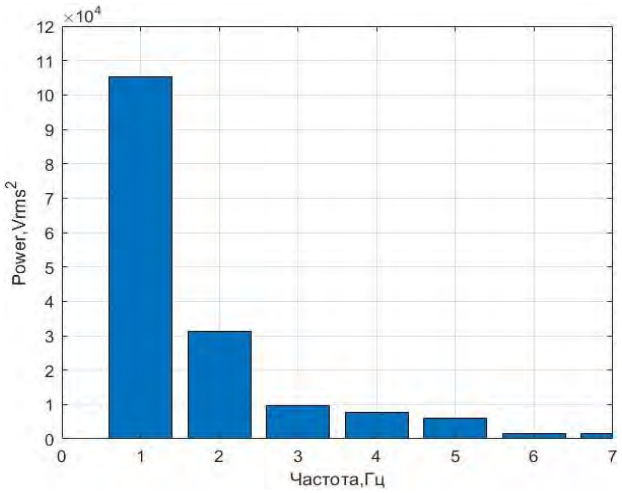


Рисунок 2. Гістограма Power для сигналу С2

Як видно з рисунків 1-2 параметр Power, розрахований для виміряних електроміографічних сигналів, дозволяє навіть на візуальному рівні досить чітко розрізняти числові значення у діапазоні частот від 1 до 5 Гц, отримані для різних видів рухів долоні.

В той же час, результати розрахунків параметру PSD (рис. 3-4) також є інформативними, порівняно з параметром Power мають більш широкий корисний діапазон і можуть бути використані для подальшого аналізу сигналів різних видів рухів верхньої кінцівки.

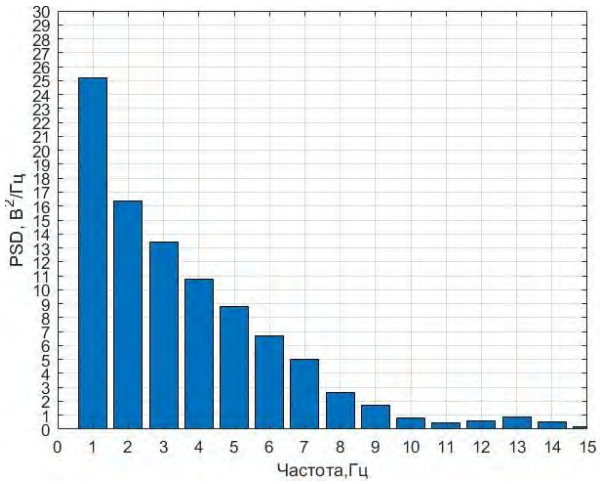


Рисунок 3. Гістограма PSD для сигналу С1

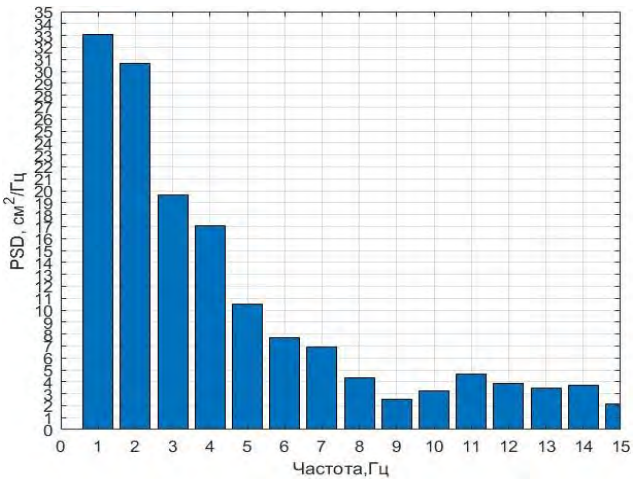


Рисунок 4. Гістограма PSD для сигналу С2

ВИСНОВОК

У цій роботі було розглянуто один із найрозповсюдженіших методів вимірювання сигналу м'язової активності - міографію. Визначено можливості використання електроміографії для створення систем біонічних протезів. Визначено принципи і алгоритм розрахунку характеристик, що використовуються для аналізу міографічних сигналів у певному часовому вікні, а саме: часові, частотні або спектральні, частотно-часові характеристики. Підтверджено ефективність застосування описаних характеристик (визначених за допомогою методів спектрального аналізу) для розпізнавання різних видів рухів долоні, шляхом використання гістограм параметрів Power та PSD. На основі розрахунків зроблено висновок що використання цих параметрів дозволяє проводити подальший аналіз сигналів рухів верхніх кінцівок людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Vonsevych, K. P., Bezuglyi, M. O., & Haponiuk, A. O. (2018). Evaluation of Electromyogram Time Characteristics of the Wrist Functional Movements for Intuitive Control of Bionic Prosthesis. Naukovi Visti NTUU KPI, (1), 45-53.

[2] Brigham E. O. THE FAST FOURIER TRANSFORM AND ITS APPLICATIONS / E. Oran Brigham. – Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 1988. – 448 с.

[3] Cerna M. The Fundamentals of FFT-Based Signal Analysis and Measurement / M. Cerna, A. F. Harvey. // National Instruments Corporation. – 2000. – С. 19.

[4] Miller S. L. Probability and Random Processes / S. L. Miller, D. Childers. – Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc., 2012. – 611 с.

Наук. керівник – к.т.н, асистент Вонсевич К.П.

УДК 535.2:616-7

В. О. Чорний, студент гр. БП-71.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ІНДИКАТРИСИ РОЗСІЯННЯ ШАРУ ДЕРМИ ЛЮДИНИ НА ДОВЖИНІ ХВИЛІ 632.8 НМ

Анотація. У даній роботі розглянуто вплив величини фактору анізотропії тканини на усереднену за перетинами індикатрису розсіяння шарів дерми людини різної товщини, що моделюють поширення світла на різних ділянках шкіри методом Монте-Карло для оптичних властивостей на довжині хвилі 632.8 нм.
Ключові слова: *фактор анізотропії тканини, індикатриса розсіяння, дерма, метод Монте-Карло.*

ВСТУП

Процеси моделювання випромінювання у біологічному середовищі для визначення його оптичних властивостей потребують правильного підбору параметрів та характеристик симуляції. У більшості біологічних тканин, фотони розсіюються переважно напрямку вперед. Це явище не може пояснюватися за допомогою розсіяння Релея. З іншого боку, спостережувана залежність від довжини хвилі сильніша, ніж може допускати розсіяння Мі. Таким чином, ні розсіяння Релея, ні розсіяння Мі не можуть повністю описати розсіяння в тканинах. Тому для модельної інтерпретації була введена функція (фазова функція) ймовірності того, що фотон розсіється на певний кут, який може бути підібраний за експериментальними даними. Якщо фазова функція не залежить від обраного кута, то говорять про ізотропне розсіяння, інакше має місце анізотропне розсіяння [1]. Залежність яскравості світла від кута розсіяння, іншими словами індикатриса розсіяння, є типовою характеристикою товщинних біологічних середовищ. Її прийнято позначати у вигляді полярної діаграми, в центрі якої розміщена розсіювальна частка. Світло падає на частку зліва направо. Довжина радіуса-вектора на індикатрисі розсіяння (зовнішньої кривої) показує в відносних одиницях інтенсивність світла. Повертаючи радіус-вектор навколо центральної точки від 0° до 360° можна побачити як змінюється яскравість розсіяного світла зі зміною кута розсіяння [2, 3].

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є аналіз впливу фактору анізотропії на індикатрису розсіяння при моделюванні поширення оптичного випромінювання методом Монте-Карло для зразків дерми людини різної товщини.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проведення дослідження була реалізована програмна симуляція поширення оптичного пучка світла в біологічному середовищі дерми людини. Принцип роботи полягає у наступному, лазерне випромінювання з довжиною хвилі 632.8 нм у вигляді пучка з 20 млн фотонів і діаметром 1.4 мм направляють на досліджуваний об'єкт (плоский зразок дерми людини), який розсіює світло у в прямому та зворотному напрямках, після чого реєструють просторовий розподіл розсіяного випромінювання у відповідності з принципами, описаними у роботах [4, 5, 7].

Оцінимо вплив фактору анізотропії на світлорозсіяння дермою для наступних її опричних властивостей: показник заломлення n = 1.39, коефіцієнт поглинання μa = 0.073, коефіцієнт розсіяння μs = 20, фактор анізотропії розсіяння g = 0.76, товщина шару d1 = 0.66 мм, d2 = 2.71 мм, d3 = 4.76 мм [6].

На рисунку 1 в полярній системі координат побудовано усереднені за трьома перетинами індикатриси розсіяння для трьох зазначених товщин дерми людини при фіксованому значенні фактору анізотропії. Усереднення здійснено за трьома перетинами, що характеризують значення азимутального кута просторового розподілу φ1 = 0°, φ2 = 60° та φ3 = 120°. Отриманні данні для перетинів з зазначеними азимутальними кутами зводилися до середнього значення для кожної із товщин. Напрямок світла прямує від 180° до 0°.

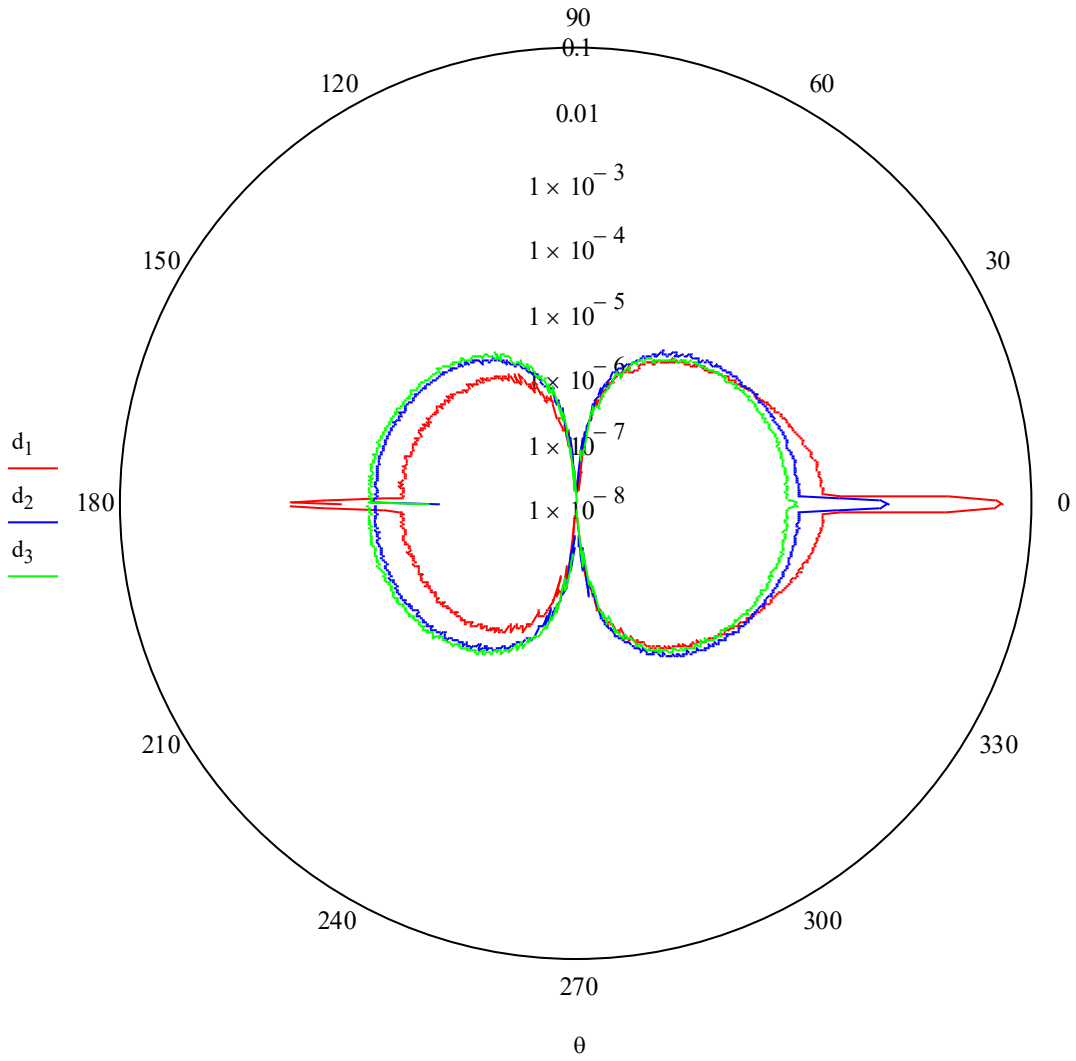


Рисунок 1. Індикатриси розсіяння

З рисунка 1 видно, що практично на кожній товщині присутні зони колімованого пропускання та колімованого відбиття, що відповідають радіусу падаючого пучка променів. Для товщини d1 колімоване пропускання практично у два рази більше ніж для товщини d2 та майже не спостерігається для товщини d3. Подібна ситуація й у випадку колімованого відбитті, вибір товщини d1 призводить до найбільшого відбиття пучка променів. Для товщин d2 та d3 такий характер поведінки колімованого розсіяння назад відсутній.

На рисунку 1 також видно два напівкруга, окремо для кожної товщини, де один відповідає за дифузне пропускання, а другий – за дифузне відбиття. Дифузне пропускання спричинене явищами об'ємного розсіяння фотонів, що мало відхиляються від початкової траєкторії, а дифузне відбиття виникає внаслідок наявних мікро-нерівностей, які спів-мірні або перевищують довжину хвилі падаючого світла, що призводить до його розсіяння в напрямку назад [7]. У роботі також розглянуто вплив величини фактору анізотропії на просторовий розподіл розсіяного випромінювання. При цьому фактор g змінюється в межах 0.71 … 0.81, а крок при симуляції поширення оптичного випромінювання в дермі методом Монте-Карло складає 0.01.

ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано особливості впливу фактору анізотропії тканини дерми людини на характер індикатриси розсіяння для трьох різних товщин на довжині хвилі 632.8 нм. Просторові характеристики кутового розподілу яскравості розсіяного світла дозволяють вивчати фізико-біологічні процеси взаємодії оптичного випромінювання с тканиною на молекулярному та атомарному рівнях і прогнозувати вплив оптичних властивостей на інтенсивності розсіяного світла в межах повного тілесного кута. У результаті ключовими характеристиками, на яких доцільно здійснювати попередній фотометричний аналіз є колімоване пропускання та відбиття, дифузне пропускання та відбиття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. Саратов, 1998. 371 с.
[2] Звеньева С.В. 'В мире солнечного света' - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1988. — с.160.
[3] Зуев В. Е., Кабанов М.В. Оптика атмосферного аэрозоля. — 1987. — 255 с.
[4] M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya, and D.V. Horban, "Determination the tissue anisotropy factor during the photometry by ellipsoidal reflectors", KPI Science News, no. 4, pp. 1 – 9, 2019.
[5] Безуглий, М. О. Еліпсоїдальні рефлектори для фотометрії біологічних середовищ : дис. д-ра техн. наук : 05.11.17 - біологічні та медичні прилади і системи / Безуглий Михайло Олександрович. – Київ, 2020. – 425 с.
[6] Чорний В. О. Збірник праць конференції ЕАІРП / Секція №8 – Економічна ефективність використання систем біомедичного приладобудування та технологій / «Вплив фактору анізотропії на світлорозсіяння дермою людини на довжині хвилі 632.8 нм», м. Київ : 2020 р. — 456 с.
[7] Безугла Н.В. Просторова фотометрія біологічних середовищ // Безугла Н.В., Безуглий М.О., Тимчик Г.С., Шаргородський В.А. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2015. — Т30, №2, — С.40-49.

Наук. керівник – д.т.н,. доцент Безуглий М.О.

УДК 617.57-77:612.88

М. С. Щур, студентка гр. ПБ-82
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОНТАКТНИХ ПОВЕРХОНЬ ПАЛЬЦЯМИ БІОНІЧНОГО ПРОТЕЗУ

Анотація: У роботі описано методи ідентифікації природньої сенсорики у протезах верхніх кінцівок. Розглянуто основні фактори та обмеження які потрібно враховувати при розробці вимірювальних модулів для розпізнавання форми об'єктів. Окрім того, запропоновано принцип розробки модулю оптичної ідентифікації поверхонь із комбінацією декількох вимірювальних сенсорів та описано основні обмеження, що можуть виникати при його розробці.

Ключові слова: Біонічний протез, ідентифікація поверхонь, розпізнавання форми об'єктів, оптичні датчики.

ВСТУП

Одним із важливих питань сучасного приладобудування є біонічне протезування органів та кінцівок. Це питання на сьогоднішній день є одним з найбільш прогресивних та необхідних у галузі біомедичного приладобудування, через те, що новітні біонічні винаходи дозволяють відновлювати різні функції людського організму, які необхідні для нормального життя. Оскільки біонічні протези кінцівок є складними механіко-електронними системами, практично кожна з їх складових частин потребує досконалого вивчення та розробки. Однією з важливих складових біонічного протезу верхніх кінцівок є його сенсорика, та можливість «розпізнавати» об'єкти з якими взаємодіє протезна рука.

Даний аспект впливає на ряд можливостей протезу, для прикладу розпізнання структури та форми об'єкту біонічними кінцівками може допомогти у покращенні хапальних рухів, так як при різній структурі необхідна різна сила охвату предметів. Також розпізнання структури об'єкту є важливим для забезпечення автономної роботи біонічної кінцівки, так як чим краще протез зможе відрізняти форму та структуру різних об'єктів, тим простіше йому буде у відтворенні різних природніх рухів.

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ФОРМИ ОБ'ЄКТІВ МАНІПУЛЯЦІЇ

Більшість методів відтворення природньої чутливості протезу верхньої кінцівки базуються на однакових принципах аналізу та інтерпретації показників, що визначаються за допомогою різних типів датчиків. Однак при цьому використання лише одного виду сенсору не є гарантією високоточного результату, тому зазвичай для розширення можливостей сенсорної системи використовується поєднання декількох із декількох типів датчиків. Прикладом, дослідження у якому вивчається питання покращення сенсорики протезу є робота [1], де авторами було запропоновано один із варіантів розпізнання форми об'єкту за допомогою декількох тактильних елементів та тензодатчиків.

В той же час, у роботі [2] запропоновано метод розпізнання структури об'єкту на основі інформації, що ґрунтується на ефекті тертя-ковзання, досліджуваному за допомогою комбінування шести датчиків сили та крутного моменту в одній системі, що дало можливість досягти точності розпізнавання структури об'єкту при значній різноманітності структури матеріалу

досліджуваного об'єкту (із паперу та гуми) до показника у 91%, а матеріалу зі схожою структурою (латунь, алюміній, скло) до показника у 82,4 %. У роботі [3] авторами було використано технологію формування тактильного зображення, отриманого внаслідок розпізнавання ємнісними тактильними сенсорами геометричної форми об'єкту, що дало можливість відтворити форму досліджуваних об'єктів (форма літер) із точністю до 100%. У роботі [4] авторами було запропоновано механізм скомбінований з різного типу датчиків сили, акселерометру та сенсорів переміщення, що дало змогу досягти автоматичного розпізнання об'єктів різної форми і структури з точністю до 94%.

РОЗРОБКА МОДУЛЮ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ПАЛЬЦІВ ПРОТЕЗУ

З огляду на інформацію представлену у попередніх розділах можна виділити декілька основних факторів, що впливають на подальшу реалізацію складових частин тактильної системи біонічних пальців (як складової частини протезної кінцівки): тип сенсору, кількість використаних датчиків, їх розміщення та точність алгоритму для розпізнавання інформації виміряної за допомогою сенсорів. У роботах [5, 6] авторами було запропоновано метод оптичної ідентифікації типу поверхонь з якими взаємодіють пальці біонічного протезу руки. В даній роботі пропонується подальший розвиток дослідження та вдосконалення модулю оптичної ідентифікації шляхом комбінування в одному вимірювальному модулі набору із декількох оптичних датчиків та джерел інфрачервоного випромінювання. Зокрема, пропонується дослідження роботи модулю із різними схемами розміщення вимірювальних датчиків та джерел випромінювання, що можуть включати в себе такі комбінації: одне джерело, чотири приймачі; одне джерело, п'ять приймачів; одне джерело, вісім приймачів; чотири джерела, сім приймачів.

Водночас, при розміщенні модулю у корпусі фаланг пальців важливо враховувати і набір певних обмежень. Вимірювальний модуль має розміщуватись у корпусі таким чином, аби мінімізувати зміни робочої площі (поверхні контакту) фаланги з об'єктом і не заважати загальному функціонуванню протезної кінцівки. Довжина хвилі світлового випромінювання та пікова чутливість сенсору повинні знаходитись у одному діапазоні, джерело світлового потоку повинно бути максимально колімованим та працювати у інфрачервоному спектрі, повинна забезпечуватись висока швидкість відповіді сенсорів, тощо. Приклад схеми розміщення вимірювального модулю із комбінацією декількох сенсорів та джерел випромінювання, а також одного джерела і декількох датчиків показано на рис. 1. а та рис. 1.б відповідно.

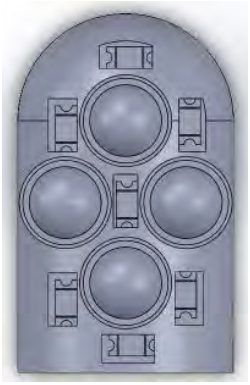


Рис. 1, а. Комбінація декількох сенсорів та джерел випромінювання

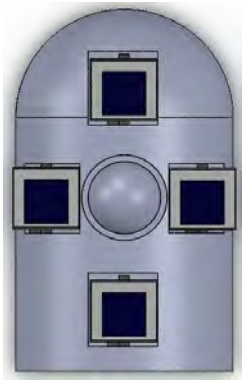


Рис. 1, б. Комбінація одного джерела і декількох датчиків

ВИСНОВКИ

Отже, у цій статті було проведено аналіз основних методів, що використовуються для розпізнання структури та форми об'єктів пальцями протезу. Розглянуто основні фактори та обмеження, які необхідно враховувати при розробці вимірювальних модулів для розпізнання форми об'єктів. Також запропоновано принцип розробки модулю оптичної ідентифікації поверхонь із комбінацією декількох вимірювальних сенсорів та джерел та розглянуто основні обмеження, що можуть виникати при його розробці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Martinez-Hernandez U., Dodd T. J., Prescott T. J. Feeling the Shape: Active Exploration Behaviors for Object Recognition With a Robotic Hand. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. 2018. Vol. 48, no. 12. P. 2339–2348.

[2] Surface material recognition through haptic exploration using an intelligent contact sensing finger / L.Hongbin, L. Seneviratne, J. Bimbo, K. Althoefer. // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems.. – 2012.

[3] Zachary P. Object Mapping, Recognition, and Localization from Tactile Geometry // IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2011.

[4] Kaboli M. In-hand object recognition via texture properties with robotic hands, artificial skin, and novel tactile descriptors / M. Kaboli, G. Cheng. // IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids). – 2015.

[5] Vonsevych, K. P., Bezuglyi, M. O., & Prytula, O. A. (2019). Optical feedback based on the photometryby ellipsoidal reflector in bionic fingers application. KPI Science News, (3), 63-72.

[6] Bezuglyi, M. A., Bezuglaya, N. V., Ventsuryk, A. V., & Vonsevych, K. P. (2019). Angular Photometry of Biological Tissue by Ellipsoidal Reflector Method. Приборы и методы измерений, 10(2).

Наук. керівник – к.т.н., асистент, Вонсевич К.П.

Секція 7.

Неруйнівний контроль, технічна та медична діагностика

УДК 620.179+ 615.471

М.В. Герасимчук, студент гр. ПК-01мп, ас. Лашко О.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

УЛЬТРАЗВУКОВА ДІАГНОСТИКА ЗАХВОРЮВАНЬ ОКА

Анотація. В роботі здійснено огляд захворювань системи зору людини та засобів офтальмологічних досліджень патологій ока. Проведено аналіз переваг і недоліків застосування сучасних пристроїв медичної діагностики ока людини. Розглянуто типову структурну схему ультразвукового окулометра, основні принципи його роботи, а також перспективи його застосування у діагностиці захворювань ока.
Ключові слова: око, зорова система, захворювання, патологія, ультразвукова діагностика, окулометр.

ВСТУП

Око – один із найважливіших органів зорової системи людини. Завдяки оку людина сприймає більшу частину інформації. Через зір людина може оцінити такі параметри оточуючих об’єктів як розмір, форма, колір та ін. Проте, як і інші органи людини, для ока властива низка захворювань, через які знижується якість зору, що в подальшому призводить до дискомфорту, погіршення здатності орієнтуватися в просторі та ін.

Одним із важливих завдань виявлення патологій ока є дослідження однорідності структури цього органу. Серед перших пристроїв, що дозволяли виявляти неоднорідності ока людини, були ручні офтальмолоскопи. Сьогодні виділяють такі види офтальмолоскопів: бінокулярні, лазерні, з лінозою Гольдмана, прямої і зворотної дії. Основними недоліками цих приладів є низька інформативність щодо структури досліджуваного об’єкта, вузький спектр патологій, які можливо виявити, висока ймовірність помилкових діагнозів на основі досліджень.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є теоретичне вивчення засобів діагностики неоднорідностей структури ока з метою виявлення захворювань зорової системи людини та запобігання прогресування хвороб на ранніх етапах.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Око – парний сенсорний орган людини, що має здатність сприймати електромагнітне випромінювання у видимому діапазоні довжин хвиль і забезпечує функцію зору. Крізь очі людина сприймає близько 90% інформації з навколишнього світу. Зоровий орган також називають зоровим аналізатором. Він має три ланки: периферичну, провідникову і центральну. Око людини є результат довготривалого процесу удосконалення світлового сенсору нервової системи. Очне яблуко має округлу форму, його діаметр становить близько 23 мм, маса 7-8 г. Стінка ока утворена трьома оболонками: зовнішньою – білковою, середньою – судинною, внутрішньою – сітківкою. Очне яблуко має стінку, внутрішнє ядро (кришталик, скловидне тіло), передню та задню камери ока (заповнені водянистою вологою).

Хвороби ока можуть бути як спадковими, так і набутими протягом життя, тому можливість своєчасного виявлення і діагностики патологій відіграє важливу роль в сучасній медицині. До основних хвороб ока відносять: катаракту

(помутніння кришталика ока), глаукому (підвищення внутрішньоочного тиску), кератоконус (конічне випинання рогівки), астигматизм (розфокусування променів світла), міопію (короткозорість), гіперметропію (далекозорість) [1].

Найбільш поширеним способом дослідження патологій ока є офтальмоскопія, яка вважається традиційним методом діагностики захворювань органів зору. Процедура безпечна і не доставляє пацієнтові неприємних відчуттів. Офтальмоскопія передбачає огляд очного дна за допомогою спеціального приладу – офтальмоскопа. Обстеження дозволяє візуалізувати стан сітківки і розташованих в ній структур. Це неінвазивна процедура, яка проводиться на профілактичних оглядах у людей будь-якої вікової категорії. Серед методів офтальмоскопії розрізняють: бінокулярну, лазерну, з лінзою Гольдмана, прямої і зворотної дії. Однак значними недоліками таких пристроїв є низька інформативність отриманих даних щодо однорідності структури досліджуваного об’єкта, а тому можливість сприйняття лікарем отриманих результатів як норми, а також вузький спектр патологій, які можливо виявити, і відсутність можливості виявлення захворювань на ранніх стадіях.

Сучасна офтальмологія зробила величезний прорив в способах діагностики і лікування хвороб системи зору. Відносно недавно для діагностики стану ока фахівці почали застосовувати принципово нові пристрої, дія яких базується на застосуванні ультразвукових коливань певної частоти та реєстрації їхніх параметрів після взаємодії з досліджуваним об’єктом. Такі прилади мають значно менші габаритні розміри та вагу, а також забезпечують більшу ймовірність виявлення патологій ока, більшу інформативність щодо однорідності його структури, розширюють спектр виявлених патологій навіть на ранніх стадіях, а також мають більшу роздільну здатність, яка характеризується мінімальною відстанню між двома відбиваючими структурами, від яких можливо отримати сигнали.

Для ультразвукової діагностики в офтальмологічній практиці використовуються високочастотні п’єзоелектричні перетворювачі частотою від 7,5 МГц до 12,5 МГц. Генератор хвиль працює в імпульсному режимі, посилаючи близько 1000 імпульсів за секунду. У процесі проходженні ультразвукових хвиль через структури ока частина ультразвукових коливань відбивається і повертається назад до джерела випромінювання як відбита хвиля, або «відлуння». Вона перетворюється в електричний сигнал, який в подальшому використовується для формування зображення. У проміжках між генеруванням ультразвукових хвиль п’єзоперетворювач фіксує сигнали, що надходять від об’єкту дослідження. Особливості ультразвукового зображення внутрішньоочних структур залежать від їхнього розміру, форми, структури поверхні і акустичного імпедансу [2].

На рисунку 1 представлено типову структурну схему ультразвукового окулометра [3].

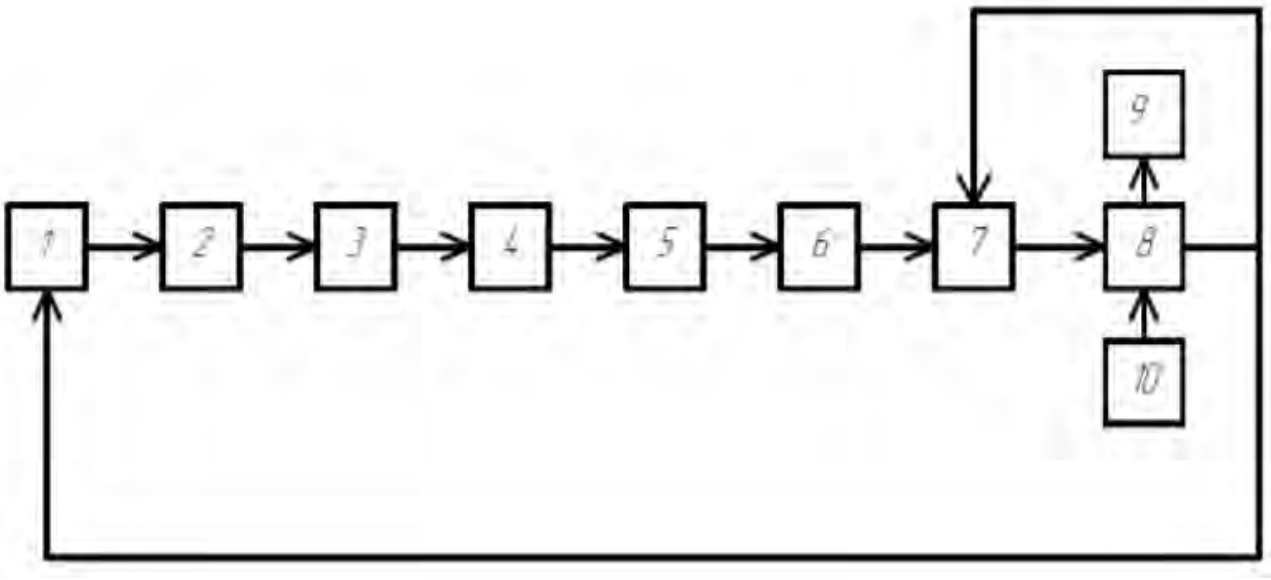


Рис. 1 Структурна схема ультразвукового окулометра

Принцип роботи ультразвукового окулометра ґрунтується на таких його структурних блоках: генератор зондувальних імпульсів (1), первинний п'єзоелектричний перетворювач (2), схема захисту (3), попередній підсилювач (4), смуговий фільтр (5), підсилювач з автоматичним регулюванням коефіцієнту підсилення (6), аналогово-цифровий перетворювач (7), мікроконтроллер (8), дисплей (9), клавіатура (10).

Мікроконтролер постійно виробляє тактові сигнали, які поступають на вхід генератора зондувальних імпульсів і запускають його. Генератор зондувальних імпульсів виробляє електричний імпульс, який надходить до первинного перетворювача. За рахунок зворотного п'єзоефекту у первинному перетворювачі виникають пружні коливання, які поширюються в об'єкті дослідження. Коливання, відбиті від неоднорідностей ока, повертаються до перетворювача. За рахунок прямого п'єзоефекту відбиті коливання перетворюються в електричні імпульси, які потрапляють на схему захисту, потім до попереднього підсилювача. З підсилювача сигнал передається до смугового фільтру, завдяки якому відсікаються шумові складові і залишається тільки інформативний сигнал. З фільтру сигнал потрапляє на підсилювач з автоматично регульованим коефіцієнтом підсилення. Після цього підсилений сигнал потрапляє до аналого-цифрового перетворювача, де він оцифровується і потрапляє на мікроконтролер та дисплей. В результаті за сформованими зображеннями [4] можна отримати повноцінну інформацію про наявні патології ока і, після консультації з лікарем, встановити діагноз і розпочати лікування.

ВИСНОВКИ

Таким чином, своєчасне виявлення патологій ока важливе для встановлення лікарського діагнозу. Сучасні прилади та пристрої підвищують ефективність виявлення відхилень від норми у структурі ока. Традиційні засоби офтальмології – офтальмолоскопи широко застосовуються у медичній діагностиці, проте мають низку недоліків. У порівнянні з ними особливої уваги заслуговують більш сучасні пристрої – ультразвукові окулометри. До їхніх переваг можна віднести:

високу роздільну здатність, інформативність, широкий спектр захворювань, які можна виявити, та можливість виявлення хвороб на ранніх стадіях. Отже, застосування ультразвукових окулометрів надзвичайно перспективне для сучасної офтальмології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] М. Ф.Терещенко, Г. С. Тимчик, та І. О. Яковенко, Акустичні медичні прилади : Метод. вказівки до викон. курсового проекту та розрахунково-графічної роботи для студ. напряму підготовки 6.051003 – «Приладобудування» програми професійного спрямування «Медичні прилади і системи». Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2016.

[2] Н. Г. Завгородня та ін., Анатомія ока. Методи дослідження в офтальмології : навч. посібник для студентів мед. фак-тів. Запоріжжя, Україна. 2017.

[3] J. Meier, I. Tsalicoglou, and R. Mennicke, “The future of NDT with wireless sensors”, in Proc. 15th Asia Pacific Conference for Non-Destructive Testing, Singapore, 2017, pp. 1-11.

[4] V. Petrik, A. Protasov, K. Syeryy, and I. Lysenko, “Using wireless data transmission in eddy current nondestructive testing”, in Материалы 10-й Международной научно-технической конференции, Минск, Республика Беларусь, 2017. pp. 74-76.

Науковий керівник – асист., керівник навч. центру ПП «ДП-ТЕСТ»
Лашко О.В.

УДК 004.94, 535.31

М.О. Глущенко, студент гр. ПК-01мп, к.т.н., О. В. Муравйов
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОДЕЛЮВАННЯ ЛЮДСЬКОГО ОКА ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ CAD СИСТЕМ

Анотація. Стаття присвячена дослідженню можливості розробки адекватної моделі людського ока з використанням сучасних систем автоматизованого проєктування. У роботі продемонстровано приклад поєднання CAD систем для більш точного вирішення такої задачі з використанням сучасних методів моделювання. Створено комплексну модель досліджуваного об'єкта в OpticStudio та SolidWorks на основі моделі ока Liou & Brennan 1997 року з метою подальшого її застосування при проектуванні прогресивних лінз окулярів вільної форми.

Ключові слова: людське око, моделювання, OpticStudio, SolidWorks, CAD системи.

ВСТУП

Протягом останніх 150 років у науковій літературі було опубліковано сотні моделей людського ока, серед яких можна знайти як дуже прості, що складаються з однієї заломлюючої поверхні, так і досить складні моделі з понад 4000 заломлюючими поверхнями. Деякі з них враховують неоднорідність значення показника заломлення по об'єму кришталика, інші представляють цей градієнт в якості двох або більше однорідних оболонок, більшість враховують цей компонент як елементарну однорідну лінзу [1].

На сьогоднішній день не існує абсолютно точної та цілком адекватної оптичної моделі ока, що обумовлено насамперед неповною вивченістю його структури та принципів роботи. Наукові дослідження органу зору людини та його властивостей продовжуються, з'являються нові гіпотези та теорії щодо функціонування елементів структури.

СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ ЛЮДСЬКОГО ОКА

Моделювання системи ока застосовується, як правило, для вирішення конкретної задачі у певній сфері життєдіяльності людини. Такі моделі не є універсальними і не здатні у повній мірі відповідати органу зору конкретної персони. При цьому більш складне моделювання не обов'язково точніше відображає всі властивості ока або параметри органів зору конкретної людини. Немає сенсу, наприклад, використовувати модель, що включає кришталик з градієнтним показником заломлення, якщо це не дає більш достовірної інформації, ніж випадок представлення його у вигляді однорідної лінзи.

Моделі людського ока широко застосовуються у різних сферах, таких як медицина, наука, освіта та ін. Наприклад, багато офтальмологічних інструментів при дослідженні, діагностиці або хірургічних втручаннях спрямовують потік світла в око, при цьому корисно мати змогу визначити ефективність системи подачі освітлення або рівномірність розподілу світла на сітківці органу зору за допомогою попереднього моделювання. У деяких випадках вкрай важливо чітко сфокусувати світловий потік на певній дуже малій зоні сітківки, наприклад, при лазерному лікуванні діабетичної ретинопатії, в інших – світло фокусується на зіниці так, що висвітлює широке поле, наприклад, при непрямій офтальмоскопії. Єдина універсальна модель людського ока може бути використана для

проведення розрахунків в обох цих випадках, але з різною заданою геометрією джерела випромінювання.

МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНУ ЗОРУ ЛЮДИНИ

Створення адекватної моделі органу зору людини є непростою комплексною задачею. Основні труднощі, що виникають при такому моделюванні обумовлені наступним: кришталик має різний коефіцієнт заломлення по об'єму; його поверхні спроможні змінювати кривизну під дією механічних напружень; оптичні поверхні структурних компонентів ока складаються з дуже тонких плівок, простір між якими заповнений рідиною. Ще однією проблемою є те, що поверхня зображень оптичної системи ока (сітківка) має математично складну близьку до сферичної форму, що також значно ускладнює модель, так як не кожне програмне середовище здатне створити такий детектор [2]. На даний час орган зору повністю не вивчено саме через його складну будову, спрощена структура якої наведена на рис. 1. Отже, застосування сучасних CAD систем та комп'ютерного моделювання може суттєво допомогти при дослідженні структури та властивостей людського ока.

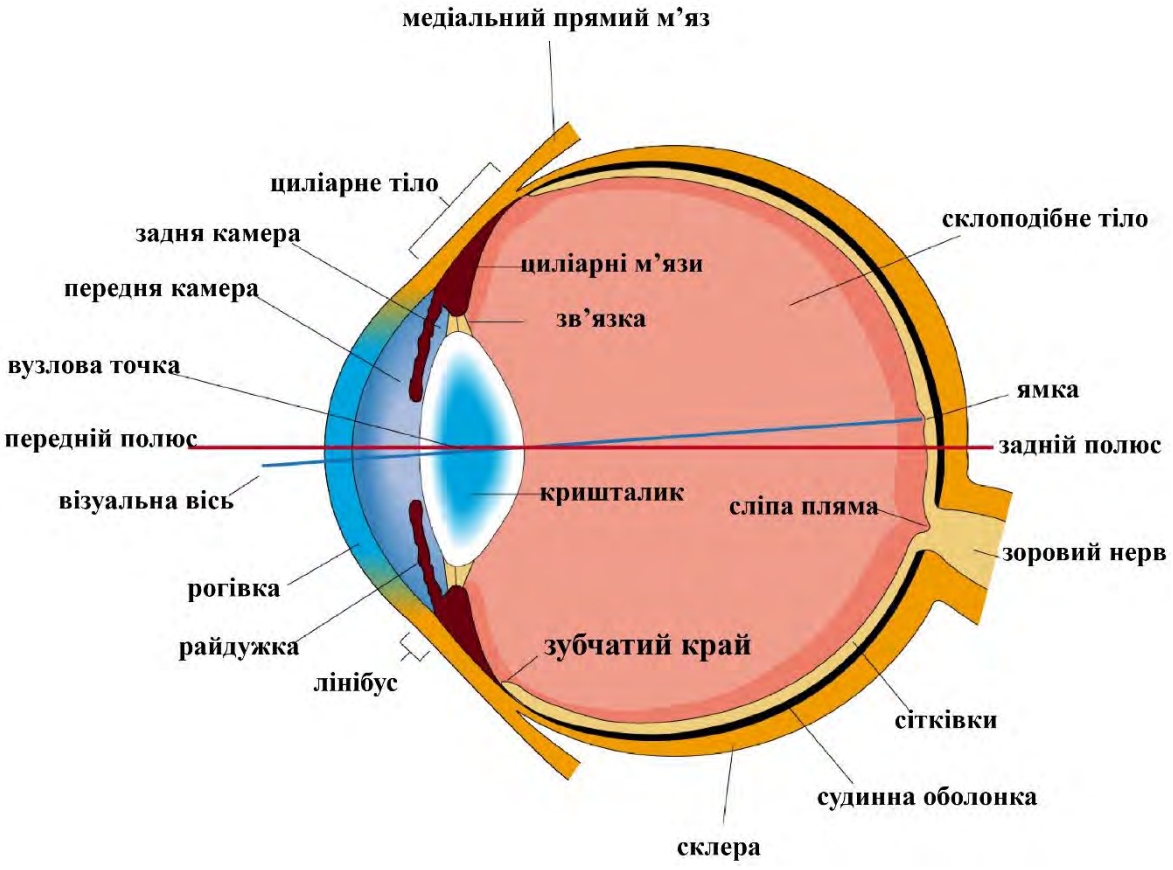


Рисунок 1. Будова людського ока

Проведене моделювання органу зору людини базується на параметрах моделі ока, розробленої Ліу та Бреннан у 1997 році [3], та реалізовано за допомогою програм OpticStudio і SolidWorks [4].

SolidWorks – програмний комплекс САПР для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Середовище здатне забезпечити розробку виробів будь-

якого ступеня складності і призначення. Результат першого етапу моделювання людського ока, реалізований в програмному пакеті SolidWorks, наведено на рис. 2.

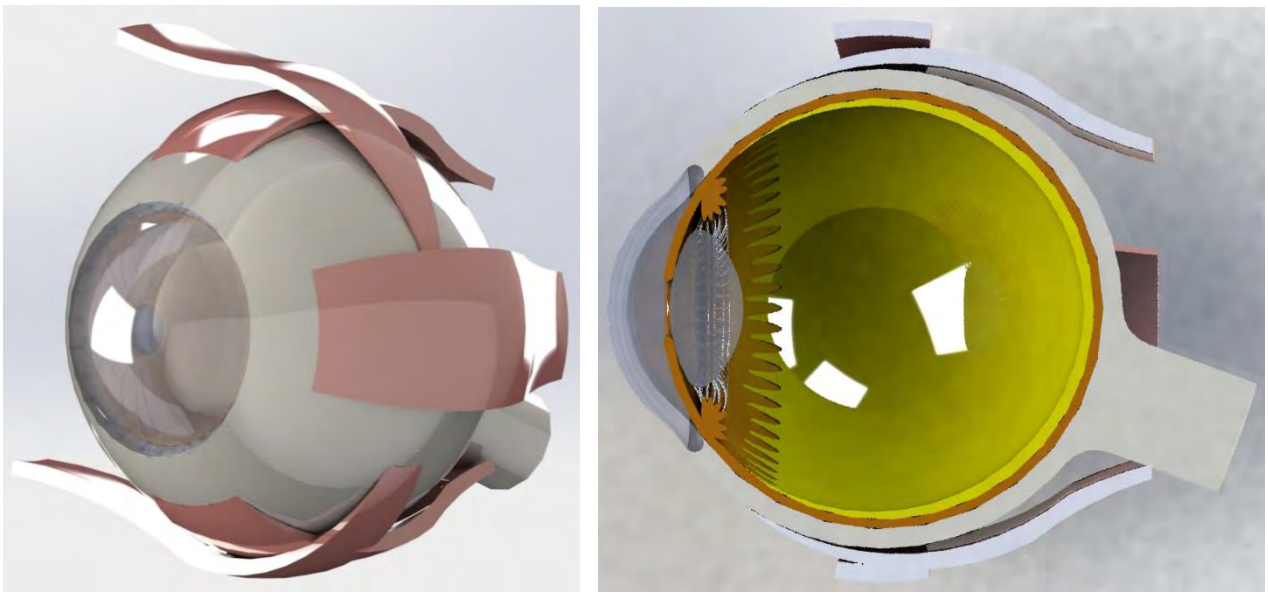


Рисунок 2. Модель людського ока в програмі SolidWorks

OpticStudio – це широко поширене в світі програмне забезпечення для проектування оптичних, світлових, лазерних систем. Провідні компанії аерокосмічної, астрономічної, автомобільної промисловості та ті, що працюють в області біомедичних досліджень, побутовій електроніці і з машинним зором, використовують цю програму в якості свого головного інструменту для оптичних розрахунків і проектування [5]. Заключний етап моделювання реалізовано за допомогою програми OpticStudio, що дало змогу створити досить універсальну, точну та адекватну модель людського ока (рис. 3), розрахувати і проаналізувати якість зображення його оптичної системи, дослідити його властивості (наприклад, акомодацію та адаптацію), забезпечити можливість в подальшому використовувати модель для різних потреб.

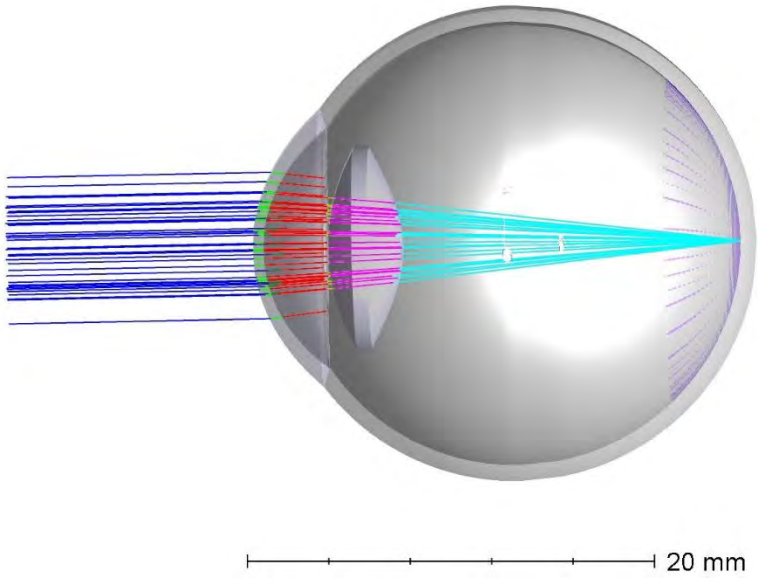


Рисунок 3. Функціональна модель людського ока в програмі OpticStudio

Кожна зі згаданих програм має як свої беззаперечні переваги так і загальновизнані недоліки, однак, поєднання можливостей цих CAD систем дає змогу створити дійсно адекватну та реалістичну модель органу зору людини. У середовищі SolidWorks було виконано моделювання певних частин структури ока, що не впливають на оптичну складову розрахунку, а у програмі OpticStudio проводився аналіз якості зображення оптичної системи.

Для підвищення точності дослідження в OpticStudio використовувався непослідовний режим роботи програми, що дало змогу змоделювати необхідні види світлових променів та маніпулювати твердотільними об'єктами, а не поверхнями. Також завдяки цьому вдалося додати до моделі елементи структури ока, що синтезовані в середовищі SolidWorks, і надати їм оптичні властивості. Слід зазначити, що програма OpticStudio є доволі гнучкою при подібному налаштуванні оптичних систем. Суттєвою перевагою застосування OpticStudio також є те, що дане спеціалізоване програмне забезпечення має вбудований каталог матеріалів оптичної системи людського ока.

ВИСНОВКИ

Сучасні CAD системи дають змогу створювати високоякісні цифрові моделі об'єктів та конструкцій, ефективно проводити інженерні розрахунки та наукові дослідження. Можливості таких програмних пакетів звісно обмежені, однак, грамотне їх поєднання дозволяє моделювати роботу дуже складних систем, швидко та достовірно визначати параметри будь-якого об'єкту.

Результати, отримані на основі продемонстрованої в роботі моделі, мають високу достовірність та дозволяють проводити дослідження оптичної системи з метою корекції різноманітних недоліків органу зору людини.

Розроблену модель людського ока планується у подальшому використовувати для проектування прогресивних лінз окулярів вільної форми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Курушина С. Е. Моделирование естественной структуры хрусталика глаза человека/ С. Е. Курушина, Л. И. Громова// Научные доклады ежегодной межвузовской 55 научной конф. СГПУ. – Самара. – 2001. – С. 146-151.

[2] Smith G. The optical modeling of the human lens / G. Smith, B. K. Pierscionec, D. A. Atchison // Ophthalmic. Physiol. Opt. – 1991. – Vol. 11. – pp. 359-569.

[3] Liou H. L. Anatomically accurate, finite model eye for optical modeling / H. L. Liou, N. A. Brennan // J. Opt. Soc. Am. – 1997. – Vol. 14(8). – pp. 1684-1695.

[4] Назарчук О. О. Компенсація терморозфокусування оптичної системи термографа / О. О. Назарчук, О. В. Муравйов. // Біомедична інженерія. – 2017. – №5. – С. 66-67.

[5] Бруслик М. О. Обнаружение объектов с помощью систем компьютерного зрения / М. О. Бруслик, А. В. Муравьев // Новые направления развития приборостроения: материалы 10-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 26-28 апреля. – Минск, Беларусь. – 2017. – С. 27-28.

УДК 620.179

Кібаленко В.В., студент гр. ПК-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОДИ ВИЯВЛЕНЯ СИГНАЛІВ ЗА НИЗЬКОГО ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ В УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

Анотація. В статті було розглядаються найбільш вживані методи опрацювання сигналів на фоні шуму для застосування в ультразвуковому контролі (УЗК) матеріалів зі значним загасанням.
Ключові слова: ультразвукова дефектоскопія, виявлення сигналів на фоні шуму, статистична обробка.

ВСТУП

Сьогодні ультразвукова дефектоскопія є одним із найбільш вживаних методів неруйнівного контролю через свою надійність, достовірність та відносну простоту технічної реалізації [1]. Метод дає можливість виявляти поверхневі, підповерхневі та глибинні дефекти різних типів, вимірювати товщину виробів, тощо.

В ультразвуковій дефектоскопії пошук дефектів здійснюється шляхом випромінювання та прийняття ультразвукових коливань, що відбились від дефекту з подальшим аналізом цих сигналів. Досить часто потрібно аналізувати такі сигнали в умовах значної апріорної невизначеності характеристик таких сигналів та низького відношення сигнал/шум (с/ш). Серед найбільш вживаних методів аналізу сигналів за низького відношення с/ш є: кореляційний аналіз, вейвлет-аналіз, метод узгодженої фільтрації, застосування сигналів з різними видами модуляції та маніпуляції, спліт-метод [2].

Через те, що на вхід приймального пристрою надходить адитивна суміш корисного сигналу та шуму, ймовірність правильного виявлення дефектів за відбитими від них сигналами буде залежати від відношення с/ш. Тож проблема підвищення вірогідності виявлення інформаційних ультразвукових сигналів є актуальною.

МЕТА РОБОТИ

Мета даної роботи – огляд методів виявлення сигналів ультразвукової дефектоскопії на фоні шуму, які дають змогу підвищити вірогідність виявлення дефектів за низького відношення с/ш.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Шуми в системах вимірювання розглядаються як випадкові сигнали, які породжуються різними природними явищами та процесами, що не пов’язані з досліджуваними інформаційними сигналами. Шуми зазвичай мають широкий частотний спектр.

В ультразвуковій дефектоскопії суттєвою складовою загального шуму є структурні. Вони зазвичай утворюються за рахунок розсіювання ультразвуку на структурних неоднорідностях та зернах матеріалу. Тому численні імпульси, що виникають внаслідок розсіювання ультразвуку на неоднорідностях, надходять до приймального перетворювача з різною фазою та різним часом затримки. Внаслідок випадкового співвідношення фаз коливань перешкоди мають вигляд

імпульсів. Через це виникає потреба у використанні спеціальних методів обробки сигналів.

Обробкою сигналу називається процес перетворення та оцінки його інформаційних параметрів та характеристик певною технічною системою. Розглянемо найбільш вживані методи обробки інформаційних сигналі в їх адитивній суміші з шумом.

Найчастіше використовуваним методом обробки сигналу є кореляційний метод, який ґрунтується на порівнянні сигналів, що приймаються з набором сигналів-зразків. Ця особливість робить цей метод привабливим для використання в ультразвуковій дефектоскопії, коли відома форма зондувального імпульсу. Корелятор (рис.1) є основним елементом в цьому методі, він обчислює кореляційний інтеграл для прийнятого та опорного сигналів. Форма опорного сигналу повинна збігатися з формою очікуваного сигналу за відсутності шумів.

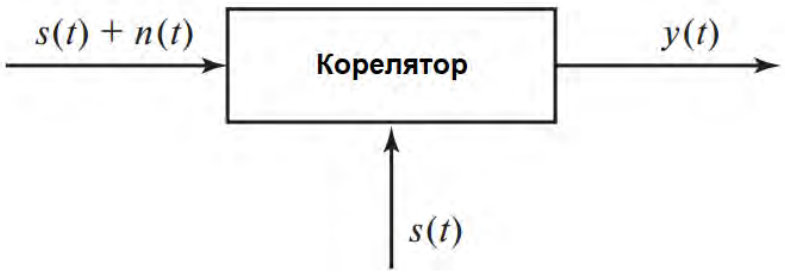


Рисунок 1. Отримання кореляційного сигналу за допомогою корелятора

Основною складністю при кореляційному аналізі є отримання зразків сигналу по відношенню до зміни умов передачі. На практиці для цього використовують тестові зразки. Іншою важливою проблемою кореляційного прийому є необхідність забезпечення високоточної синхронізації, що потрібно для когерентного прийому, коли початкова фаза сигналу відома з високою точністю. Реальний рівень завадостійкості може бути меншим від потенційно можливого через відхилення фази сигналу від розрахункового значення.

При значних випадкових відхиленнях фази (некогерентні сигнали) застосовується метод узгодженої фільтрації. Цей метод полягає в пропусканні сигналу через фільтр, характеристики якого узгоджені з очікуваним сигналом.

Вейвлет-аналіз оснований на розкладанні сигналів в базисі спеціальних обмежених в часі (чи в просторі) сигналів – «малих хвильок» (вейвлетів). Це дає змогу в вейвлет-поданні відразу мати і частотну, і часову (просторову) інформацію. Відомо, що більшість періодичних сигналів представляється сумами гармонік різної частоти. Але носії синусоїд нескінченні, тому ці функції не дають змоги відстежити зміни сигналу у часі. Щоб виявити такі зміни у вейвлет-аналізі замість нескінченних хвиль використовують абсолютно однакові, але рознесені та масштабовані в часі хвильки (рис.2).

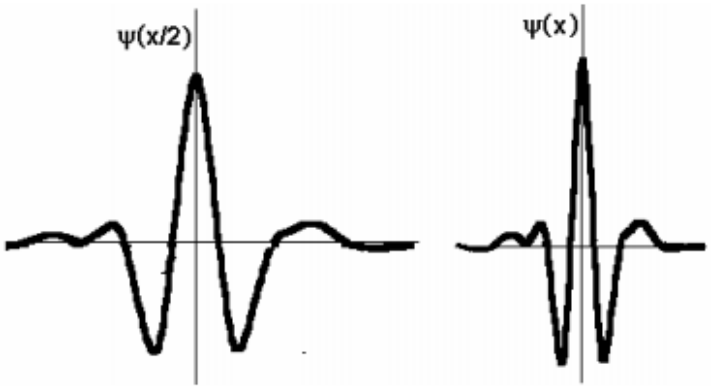


Рисунок 2. Приклад двох велетів з різним «стисканням» в часі (чи просторі)

Вейвлет-аналіз дає змогу розкласти сигнал на певну суму сплесків з різним місцезнаходженням та розмірами, що і складає його суть.

Однією з основних переваг вейвлет-аналізу є можливість локального аналізу сигналів, що дозволяє досліджувати їх невеликі ділянки з неоднорідностями. Такий аналіз дає змогу виявляти деякі особливості даних, які не можуть бути виявлені іншими методами аналізу. До таких особливостей належать різкі нелінійності в вищих гармоніках, точки розриву і т.і.

При правильному підборі метода обробки сигналів технологія ультразвукової дефектоскопії може бути покращена за рахунок забезпечення ідентифікації неприпустимих дефектів за низького відношення сигнал/шум.

ВИСНОВКИ

В цій роботі було розглянуто найбільш розповсюджені методи обробки сигналів за низького відношення сигнал/шум для забезпечення високої достовірності результатів ультразвукової дефектоскопії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Цапенко В. К , Куц Ю. В. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник. — Київ: НТУУ «КПІ», 2 010.— 448 с.

[2] Сучасні методи та засоби ультразвукового контролю з використанням статистичної обробки сигналів / В. К. Качанов, О. В. Мозговий, О. І. Пітолін та ін. — Навч. посібник / За ред. В. П. Бабака. — Київ: ІСДО, 1994. — 132 с.

[3] Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Куц Ю.В.

УДК 620.179.14

Лемешенко В.В., студент гр. ПК-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ В ЕПОХУ ІНДУСТРІЇ 4.0

Анотація. Бездротове підключення тестувальних зондів і датчиків набирає все більшого розвитку в секторі неруйнівного контролю (НК). Обробка даних у багатьох галузях вже спирається на штучний інтелект. І в той же час хмарне сховище даних оточує поле НК, оскільки користувач НК може використовувати його для виробничих даних, інструментів обробки та звітності. Незважаючи на такі перешкоди, як нафтогазові норми та обмежувальні вказівки щодо робочих процесів та зберігання даних, революція в галузі 4.0 є всюдисущою. Можливості Інтернету речей та великих об'ємів даних розуміють і сприймають практично всі галузі та все більше компаній.
Ключові слова: неруйнівний контроль (НК), бездротовий зв'язок, Інтернет речей, великі об'єми даних, Індустрія 4.0.

ВСТУП

Неруйнівний контроль - це метод тестування і аналізу, який використовується в промисловості для оцінки властивостей матеріалів, його компонентів, інженерних конструкцій або систем на предмет характерних відмінностей, виявлення зварювальних дефектів і неоднорідностей без пошкодження вихідної деталі і т.і. За останні кілька десятиліть відбулася четверта промислова революція, відома як Індустрія 4.0. Вона переносить акцент на цифрові технології за допомогою взаємозв'язку через Інтернет речей, доступу до даних в реальному часі і впровадження кіберфізичних систем [1].

НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ В ЕПОХУ ІНДУСТРІЇ 4.0

В останні роки набуває розвитку автоматизація виробництва завдяки впровадженню все більш досконалих, взаємопов'язаних та обмінюваних даними промислових систем, також відомих як "Індустрія 4.0". Двигунами цієї тенденції є зростаюча доступність мініатюризованих бездротових датчиків; повсюдність їх взаємозв'язку через інтернет; можливість хмарного зберігання/обробки даних та швидке вдосконалення методів аналізу та рекомендацій на основі зазначених даних, використовуючи все більш доступні та ефективні випадки штучного інтелекту. НК означає підвищення якості, продуктивності, безпеки та, зрештою, стійкості. Отже, майбутнє НК тісно пов'язане з процесами, що відрізняються більш високою точністю, меншою кількістю помилок і, отже, підвищеною ймовірністю виявлення дефектів, а також детальними даними та цінною інформацією, яка доступна в будь-який час із будь-якої точки світу[1].

НК ЯК ДОЧІРНІЙ ПЛАКАТ ІНДУСТРІЇ 4.0

Проаналізувавши потік вартості, орієнтований на споживача, погляд на операції та процеси, помітили, що сучасна технологія НК вже поступово забезпечує два з чотирьох принципів проектування Індустрії 4.0: сумісність та технічну допомогу. Це досягається використанням все більшої кількості даних НК, зібраних бездротовими датчиками, які здійснюють обмін інформацією та аналізуються штучним інтелектом для створення уявлення про предмет, що знаходиться під рукою, будь то артефакт, простежений уздовж виробничої лінії, або ціла будівля, яка контролюється та реєструється протягом усього його життєвого циклу. Найближчим часом очікується, що технологія НК поступово

забезпечить також інші два принципи Індустрії 4.0: прозорість інформації та децентралізовані рішення. Як і будь-яка технологія та продукт, НК зазнає посилення регуляторного тиску. Наприклад, у нафтогазовому секторі та автомобільній промисловості використання реєструвальних пристроїв, зберігання та обмін даними через інтернет речей, а також спадщина обмежувальних вказівок та звичок усталених робочих процесів, збільшують бар’єр для реального користувача для прийняття нових технологій, що може значно просунути тестування з точки зору продуктивності та достовірності результатів. Тим не менше, впровадження в виробничі лінії концепцій датчиків Індустрії 4.0, а також прийняття та тиск з боку нових учасників ринку та стартапів зумовлює тенденцію до впровадження цих нових технологій [2].

ОСНОВНІ БОЛЬОВІ МОМЕНТИ В ГАЛУЗІ НК

Складні інтерфейси користувача: більшість обладнання НК виглядає складним у використанні, оскільки воно, як правило, розробляється технічними спеціалістами. Не лише сам процес вимірювання, але й попередньо встановлені налаштування, призначені для забезпечення правильного налаштування перед вимірюванням, перевищують, в деяких випадках, розуміння користувача.

Неефективні робочі процеси: наприклад, створення та розмітка тестової сітки на досліджуваному об'єкті займає багато часу та досить громіздке. Поточні рішення вимагають фіксованої сітки, яка зазвичай складається з графіка, мірної стрічки та маркера. Точність результату залежить від точного розташування зонда на заздалегідь визначеній сітці. Процедура вимагає мінімум дев'яти ударів молотком Шмідта принаймні в дев'яти різних місцях випробувань. Під час збору даних потрібно записувати всі значення відскоку. Виходячи зі стандарту, слід виявити сторонні та розрахувати середні значення відскоку. Наразі такі процедури були ручними і, отже, схильними до помилок .

Ускладнена інтерпретація даних: При аналізі результатів вимірювань томографічних технологій компетентність в аналізі, а отже і якість висновків, може сильно відрізнятися у різних операторів. Хоча експерти часто покладаються на необроблені дані, щоб дійти висновків за досвідом, не досвідчені користувачі віддають перевагу обробленим та графічним зображенням для інтерпретації результатів.

Неповна відстежуваність: до сьогодні операторам обладнання НК доводилося вручну документувати процедури вимірювань таким чином, щоб вони могли довести, що дотримувались необхідних вказівок, а використовувані прилади та зонди були належним чином відкалібровані та перевірені. Наразі цей вид діяльності був повністю ручним. Крім того, вона постраждала від роздроблених джерел інформації, відсутності огляду покрокового робочого процесу оператора, а також будь-яких змін чи відхилень від початкової процедури. Ці проблеми призводять до відсутності простежуваності протягом процесу .

Ускладнений обмін даними: одне з найбільш трудомістких завдань сьогодні – це обробка результатів після денного збору даних у полі. Спостереження показали, що час, витрачений на виконання цього завдання, може бути фактором,

що перевищує майже в два рази фактичний час, що використовується для вимірювального завдання. Повідомлення результатів стало важливим елементом під час взаємодії з колегами, бек-офісом, постачальниками або клієнтами. Крім того, обсяг даних, зібраних, особливо при використанні томографічних технологій, таких як радіолокаційні, ультразвукові або вихрострумові, значно збільшився. Наразі дані зазвичай зберігаються на папері, у самому пристрої НК або на хмарному сховищі. Деякі пристрої покладаються на ручний експорт даних із використанням зазначеного сховища, за яким слідує постінспекційний аналіз даних після імпорту в ПК [2].

КПІ ім. Ігоря Сікорського більше десяти років займається розробкою приладів неруйнівного контролю з застосуванням бездротових технологій. Бездротовий акустичний дефектоскоп [3] та мобільний вихрострумовий дефектоскоп [4] використовують в якості блоку обробки інформації комп'ютер, а в роботах [5,6] серійні мобільні пристрої, причому в обох випадках інформація може зберігатися в хмарних сховищах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] What is non-destructive testing (ndt)? Methods and definition. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-non-destructive-testing

[2] What is Industry 4.0—the Industrial Internet of Things (IIoT)?. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://www.epicor.com/en-us/resource-center/articles/what-is-industry-4-0/

[3] The future of NDT with wireless sensors, A.I. and IoT. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://www.ndt.net/events/APCNDT2017/app/content/Paper/273_Frehner.pdf

[4] О. Л. Дугін , О. Л. Кустовський, В. Ф. Петрик, «Мобільний вихрострумовий дефектоскоп», матеріали XX-ої Міжнародної конференції та виставки «Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю та технічної діагностики», м. Гурзуф, 01 - 05 жовтня 2012 р. – Гурзуф : УІЦ «Наука. Техніка. Технологія», с.239, 2012.

[5] Petryk V.F., Protasov A.G., Syeryy K.M., Lysenko I.I., «Using wireless data transmission in eddy current nondestructive testing», Приборостроение - 2017 : материалы 10-й Международной научно -технической конференции, 1-3 ноября 2017 года, Минск, Республика Беларусь / Белорусский национальный технический университет; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. - Минск : БИТУ, с.74-76, 2017.

Наук. керівник –к.т.н., доц. Петрик В.Ф.

УДК 629.4.02, 681.892, 681.883

Малько В.П., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Анотація. Розглянуто існуючі методи та засоби ультразвукового контролю контактного точкового зварювання. Визначенні переваги на недоліки використання КТЗ для реалізації процесу зварювання. Запропоновано використання методів основаних на оцінці точкового зварного з'єднання під час процесу зварювання.
Ключові слова: контактне точкове зварювання, ультразвукові датчики, контроль зварних швів.

ВСТУП

На сьогоднішній день, перспективним є використання ультразвукових засобів контролю для проведення оцінки якості зварних з'єднань в тому числі виконаних методом контактного точкового зварювання. До переваг використання ультразвукових методів неруйнівного контролю в порівнянні з іншими методами НК відносяться: висока чутливість до дефектів, можливість виявляти дефекти розмірами до 10 мкм, невисока ціна, відсутність впливу температурних завад на результат контролю, можливість контролю неметалічних ОК, висока швидкодія. Основним недоліком ультразвукового методу при контроль КТЗ є неможливість відрізнити наявність литого ядра від злипання.

Для проведення контролю КТЗ ультразвуковим методом використовуються ехо-метод з використанням п'єзоелектричних перетворювачів з частотою від 10 до 20 МГц[1]. Отримані дані від перетворювачів обробляються та інтерпретуються на екран дефектоскопа у вигляд графіка залежності амплітуди прийнятого ехо-сигналу від часу. Використання ультразвукових методів дозволяє визначити наявність дефектів таких як: раковини, тріщини, пори, виплески, повного непровару та скупчень неметалевих включень. При цьому виявлення часткового непровару, а також тонких поверхневих оксидів без використання спеціальних методів досить важко. При проведенні контролю одним з головних завдань є визначення діаметру литого ядра, тому що в залежності від значення відхилення його діаметру від мінімального та максимального значення розрізняють два види дефектів непровар та виплеск. Наявність цих дефектів в контактних зварних з'єднаннях є недопустимим.

Для проведення якісного контролю необхідна наявність оператора, який повинен проводити контроль точкових зварних з'єднань. Він повинен проводити налаштування контрольно-вимірювальних операцій під час контролю, також він повинен слідкувати за змінами на отриманому А-скані та робити висновки про наявність дефектів різних типів. Виходячи з цього можно зробити висновок про необхідність модернізації застарілих засобів дефектоскопії за допомогою використання нейронних мереж. Використання автоматизованих систем дозволить зменшити або виключити вплив суб'єктивної похибки виміру на результат контролю якості, крім цього збільшить точність обробки А-сканів, а також збільшить швидкість проведення контролю.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

На сьогоднішній день розроблено безліч засобів призначених для контролю якості КТЗ. Кожен з них виготовлений за різною методикою та використовують різні методи для проведення контролю та інтерпретації отриманих даних.

Один з прикладів реалізованих засобів контролю КТЗ представлено в роботі [2]. Пристрій призначений для контролю контактних точкових зварних з'єднань за допомогою ультразвукових фазованих решіток та системи «MULTISCAN SM». Система «MULTISCAN SM» складається з блоку обробки даних УЗФР, скануючого пристрою та спеціалізованого програмного забезпечення. Пристрій дозволяє отримати наочне тривимірне зображення, що збільшує надійність і достовірність результатів контролю. Пристрій представляє собою ультразвуковий томограф який проводить дослідження, візуалізує внутрішню структура об'єкта контролю та відображує наявні дефекти. В процесі роботи пристрою створюються A-, B-, C-, D - скани. Заміна механічного сканування зварного точкового з'єднання електронним, яка дозволяє збільшити продуктивність контролю, а можливість фокусування дозволяє збільшити роздільну здатність отриманих двовимірних зображень.

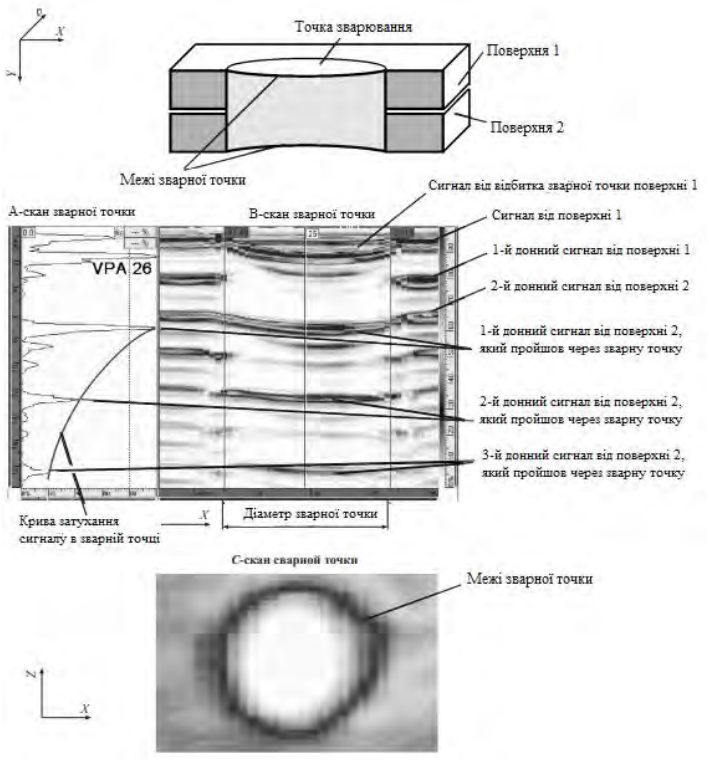


Рис. 1. Результат роботи системи «MULTISCAN SM»

На Рис.1 зображенні А-скан, В-скан та С-скан контролюючої поверхні та показане розташування сигналів від першої та другої поверхні перед проходженням через зварну точку так і після, а також показана крива затухання сигналу в зварній точці.

Контроль контактного зварного з'єднання при застосуванні системи «MULTISCAN SM» і УЗФР дозволяє виявити дефекти різних типів зварних з'єднань, визначити їх розміри та координати, дозволяє оцінити розміри зварних точок та оцінити якість з'єднання.

Ще одним пристроєм, який використовується в задачах контролю КТЗ, є «Nugget Viewer». Авторами роботи [3] був створений пристрій, призначений для контролю КТЗ імерсійним методом. Засіб складається з ультразвукового перетворювачам, скануючого пристро та імерсійної ванни. Контроль проводиться пересування скануючим пристроєм перетворювача поміщеного в імерсійну ванну розміром 12 мм з мінімальним кроком 0.2 мм. Пристрій дозволяє проводити контроль металу за допомогою візуалізації даних та визначати площу і діаметр ядра зварної точки.

Використання нейронних мереж при ультразвуковому контролі контактних зварних з'єднань відображено роботі [4]. Авторами був розроблений пристрій, який використовує обробку ультразвукових осцилограм, отриманих за допомогою програми «MATLAB», при використані нейронних мереж. Нейрона мережа виконана згідно алгоритму контрольованого навчання та дозволяє класифікувати точкові зварні з'єднання по 4 рівнях якості, кожен рівень якості має свій бажаний результат. Входами для нейронної мережі є вектори створені на основі осцилограм. Отриманий набір даних осцилограм ділиться на навчальну та перевірочну множину. Навчальна множина необхідна для перерахунку ваги нейронів, а перевірочна для захисту від перенавчання за допомогою перехресної перевірки. Для нейронної мережі кількість нейронів у прихованих шарах визначається з урахування перенавчання. Використання такої системи дозволяє збільшити швидкість обробки даний, збільшити точність результату завдяки зменшенню впливу суб'єктивної похибки.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі аналізу попередніх робіт, можна сформувати концепцію універсального пристрою для контролю контактного точкового зварювання. Для пошуку дефектів точкової зварки дефектоскоп повинен працювати з високою швидкістю, мати високу роздільну здатність інтерпретації даних та точністю оброблюваних даних, крім цього пристрій повинен проводити контроль КТЗ одночасно з процесом самого зварювання.

Виходячи з поставленого завдання рекомендовано використовувати пристрій під назвою «SPOTline», цей пристрів був виготовлений німецькою компанією «Vogt Ultrasonic GmbH». Особливістю цього засобу є можливість контролю з'єднань при виконанні процесу зварювання. Це досягається завдяки встановленню в охолоджувальний канал верхнього та нижнього електродів ультразвукових перетворювачів точкової машини. Пристрій складається з блоку обробки даних, системи управління зварювання, зварювального пістолету з ультразвуковими датчиками з вбудований водяним охолодженням.

В процесі зварювання проводяться в ехо-імпульсному режимі або наскрізної передачі імпульси з частотою 500 Гц від SPOTline-клієнта через площину об'єкта контролю[5]. Ультразвукові датчики, розташовані по обидва боки зварювальних щипців, генерують повздовжню хвилю, яка передається перпендикулярно через наконечник в зварний шов. Збір даних починається з закінченням часу стискання і продовжується протягом усього часу зварювання, що триває до часу витримки.

Отримані ехо-сигнали реєструються, створюються амплітудно-часові графіки, яка аналізуються та оцінюються блоком обробки даних, крім цього вони використовуються для відносних вимірювань призначених для компенсації температури та перевірки датчика як до зварювання так і після нього.

Після завершення процесу зварювання отримується значення результату. Результатом називається один із класів якості визначених на основі кореляції діаметру точкового зварювання. Результат ділиться згідно максимальних та мінімальних значень на 3 класи, а саме: пляма хорошої, середньої та невідповідної якості. Отриманий результат оцінки контактного точкового

зварювання передається до SPOTline-серверу, де данні зберігаються.

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день існує багато засобів призначених для оцінки контактних точкових зварних з'єднань. Використання КТЗ є популярним завдяки його простоті, можливості проведення якісного контролю та можливості автоматизації. Проведення процесу зварювання з одночасною оцінкою зварного з'єднання є перспективним напрямком розвитку КТЗ. Розвиток цієї тенденції полягає в необхідності автоматизації процесу оцінки якості. Використання цієї технології дозволить збільшити швидкість та точність зварного з'єднання без необхідності контролю шва після закінчення процесу зварювання. Основним недоліком так і залишається неможливість чітко розрізнити наявність литого ядра від злипання матеріалів. Тому необхідно провести оптимізації пристрою для зменшення впливу цього фактору на результат виміру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Шаповалов Е.В. Современные методы и средства неразрушающего контроля сварного соединения, выполненного контактной точечной сваркой (Обзор) / Е.В. Шаповалов, Р.М. Галаган, Ф.С. Клищар, В.И. Запара // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – Київ. – 2013. – № 1. – С. 10-22.

[2] Семеренко А. В. Использование фазированных решеток для ультразвукового контроля точечной сварки / А. В. Семеренко, А. В. Пепеляев. // Сварка и диагностика. – 2009. – №6. – С. 49–52.

[3] Ториуми Н., Хиросэ Н. Оборудование для дефектоскопии точечных швов «Nugget Viewer» // Технологии сварки (Welding Technology). — 2010. — № 10. — С. 51–54.

[4] Óscar M. Artificial neural networks for quality control by ultrasonic testing in resistance spot welding / M. Óscar, L. Manuel, M. Fernando // Journal of Materials Processing Technology – Valladolid, Spain: Universidad de Valladolid – (Ingeniería de Materiales). – (2-3; т. 183). – С. 226–233.

[5] Vogt G. Inline-process and quality control of spotweds of carbodies — Ultrasonic sensors integrated in resistance welding electrodes // in Proceedings 17th World conf. on nondestructive testing: conf. proc., 25–28 Oct. 2008. — Shanghai, China, 2008. —P. 1–6.

Наук. керівник – доцент Галаган Р.М.

УДК 62.529.4

Малько В.П., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ РОБОТІВ

Анотація. Розглянуто переваги на недоліки використання нейронних мереж для організації переміщення роботів. Проаналізовано існуючі методи визначення оптимальних напрямів руху робота та картографії середовищ. Запропоновано використання нейронних мереж для автоматизації алгоритмів переміщення автономних роботів з метою підвищення ефективності та точності організації руху.
Ключові слова: роботизована система, нейронні мережі, машинне навчання.

ВСТУП

На сьогоднішній день, перспективним є використання роботизованих систем для виконання різноманітних завдань. Особливо важливим є застосування мобільних роботів в неруйнівному контролі для виявлення дефектів елементів конструкцій, доступ до яких є обмеженим або ускладненим для ручної діагностики оператором.

Для вирішення поставлених завдань роботизовані системи використовують різні методи та алгоритми організації пересування. Роботизований пристрій повинен мати можливість побудови карт місцевості, визначення свого місця розташування, орієнтації по створених картах та досягнення місця призначення без зіткнень за допомогою показань датчиків орієнтації. Реалізація цього процесу відбувається завдяки надання роботам можливостей до сприйняття, обробки даних, можливості розпізнання, інтерполяції, навчання та прийняття дій, які дозволяють роботам функціонувати автономно в неструктурованих, динамічних, частково спостережуваних і невизначених середовищах.

Для реалізації необхідних роботам умінь застосовуються багато підходів, починаючи з механічних рішень та закінчуючи використанням штучного інтелекту. Останніми роками в області штучного інтелекту провідні позиції зайняли штучні нейронні мережі. Використання автономного руху роботів, тобто руху без участі оператора, забезпечить виконання завдань з підвищеною точністю та забезпечить можливість орієнтації пристрою в місцях зі складною структурою рельєфу. Водночас, використання автоматизованих систем дозволить зменшити економічні та соціальні затрати на експлуатацію та утримання роботів. Враховуючи це, актуальним є завдання розробки архітектури та вибору необхідного алгоритму навчання нейронної мережі, яка буде використана для організації руху роботів в місцевостях з різною складністю рельєфу.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Один з прикладів реалізованих структур нейронних мереж призначених для організації руху роботів представлений в роботі [1]. Авторами була розроблена нейронна мережа, яка призначена для забезпечення руху мобільних роботів, а також роботів-маніпуляторів без колізій в реальному часі у випадку використання робота в нестаціонарному середовищі. Для організації правильної роботи системи, була розроблена штучна нейронна мережа. Архітектура

описаної нейронної мережі враховувала складність необхідних обчислень. Окрім цього, завдяки якісному аналізу та теорії Ляпунова забезпечується необхідна стійкість нейронної мережі. Перевагою розробленої мережі є висока швидкість обчислення, досягнення якої стає можливим завдяки плануванню руху робота через динамічний ландшафт. При цьому не проводиться попередній збір інформації про динамічне середовище або пошук вільного робочого простору, траєкторій зіткнень та процедур повторного навчання.

Іншою системою організації руху є приведена в роботі [2]. Авторами був розроблений мобільний робот, призначений для планування траєкторії за допомогою нейронної карти, побудованої із використанням нейронної мережі Хопфілда. Система складається з двох частин: алгоритму побудови нейронної карти та конструктора траєкторій руху. Завдяки використанню нейронної мережі Хопфілда в якості представлення дискретного робочого простору, в якому кожен нейрон відповідає центру дискретного осередку та пов'язаний лише зі своїми найближчими сусідами, а вага кожного зв’язку пропорційна відстані до сусіда, з’являється можливість побудови нейронної карти. На вхід мережі передається вектор початкового стану, який складається з двох типів даних: дані, які представляють собою перешкоди руху робота та відповідні їм нейрони цілей. Дані, які описують перешкоди, мають незмінний нульовим стан, а нейрони цілей мають максимальне значення рівне одиниці.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі аналізу попередніх робіт, можна сформувати концепцію універсальної нейронної мережі призначеної для організації руху роботизованих систем. Для визначення траєкторії руху, пристрій повинен мати високу швидкість обробки даних, можливість створювати нейронні карти місцевості, апроксимувати вхідні дані, навчатися на прикладах та паралельно опрацьовувати інформацію.

Виходячи з поставленого завдання, перспективно використовувати багатошарову нейронну мережу прямого розповсюдження зі зворотним поширенням помилки [3]. Багатошаровий перцептрон відноситься до нейронних мереж з прямим зв’язком. Перцептрон складається з декількох прошарків – вхідного, прихованих та вихідного. Процес навчання відбувається завдяки алгоритму зворотного поширення помилки. Особливістю такої нейронної мережі є велика кількість проміжних прошарків, при цьому кожен нейрон або вузол пов’язаний з вузлом попереднього прошарку. Головною перевагою персептрону є висока швидкодія в порівнянні з глибинними нейронними мережами, простота реалізації та можливість апроксимувати будь-які вхідні та вихідні дані. Основним недоліком є повільний процес навчання та необхідність у великому обсязі навчальних даних [4].

Для створення інтелектуальної роботизованої системи пропонується використовувати дві нейронні мережі типу багатошаровий перцептрон. Навчання таких нейронних мереж може бути засноване на використанні растрової карти середовищ. Сканування простору перед роботом може виконуватись за допомогою ультразвукових далекомірів, область сканування

яких знаходиться в діапазоні від 0^0 до 180^0 та розбита на 9 секторів. Перша нейронна мережа буде призначена для визначення сегменту вільного простору навколо робота згідно даних, отриманих з ультразвукових далекомірів [5]. Отримані дані першої нейронної мережі являють собою вхідні дані другої нейронної мережі з зазначеним місцем розташування цілі. Друга нейронна мережа призначена для розрахунку азимуту наступного кроку руху робота. Згідно отриманих азимутів та відстаней до перешкод визначається оптимальний напрям руху робота.

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день існує багато способів організації руху мобільних роботів в автоматизованих системах неруйнівного контролю. Використання нейронних мереж є найкращим методом завдяки високій швидкодії, точності руху та можливості дистанційного керування роботом. В завданнях розробки алгоритмів руху роботів потрібна точна синхронізація даних ультразвукових далекомірів та місця розташування самого робота. Правильно створений алгоритм обминання перешкод дозволить зберегти робота неушкодженим. Розробка більш досконалого алгоритму визначення траєкторії руху дозволить зменшити вартість обслуговування, зменшити кількість робочого персоналу, а також забезпечити виконання переміщення робота в місцях зі складної структурою рельєфу. Для отримання більш точного та оптимального переміщення роботів, необхідно оптимізувати процес сканування та розробити інтелектуальний алгоритм пошуку траєкторії руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Mac TT. Heuristic approaches in robot path planning: A survey / TT. Mac, C. Copot, DT. Tran, R. De Keyser // Robotics and Autonomous Systems. – 2016. – №86. – С. 13–28.

[2] Юдинцев Б. С. Интеллектуальная система планирования траекторий мобильных роботов, построенная на сети Хопфилда / Б. С. Юдинцев, О. В. Даринцев. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №4. – С. 1–11.

[3] Galagan R. M. The Use of Backpropagation Artificial Neural Networks in Thermal Tomography / R.M. Galagan, A. S. Momot. // proc. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) Kiev, 8-12 October 2018 / IEEE. – 2018. – pp. 1–6.

[4] Momot A. Influence of architecture and training dataset parameters on the neural networks efficiency in thermal nondestructive testing / A. Momot, R. Galagan. // Sciences of Europe. – 2019. – №44. – pp. 20–25.

[5] Rituvika N. Study on Types of Neural Network Algorithm for Autonomous Robot Navigation / N. Rituvika, K. Upinder. // Journal of Aeronautical and Automotive Engineering. – 2016. – №3. – С. 49–53.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.

УДК 620.179

А.М. Маляров, студент гр. ПК-01-мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ПІДВИЩЕНОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ

Анотація. В даній статті проведено огляд фокусуючого перетворювача, побудованого з кільцевих п'єзоперетворювачів. Розглянуто спосіб підвищення роздільної здатності в твердотільних матеріалах. Також наведено принцип роботи ультразвукового дефектоскопа та розглянуто спосіб реалізації такого методу на реальному приладі.

Ключові слова: Фокусуючий перетворювач, неруйнівний контроль, п'єзоперетворювач, роздільна здатність.

ВСТУП

Основною задачею розвитку ультразвукової дефектоскопії є підвищення її просторової роздільної здатності, яка є залежною від ряду характеристик дефектоскопу та довжини хвилі використаних для контролю коливань. Вирішення такої задачі можливе двома шляхами: використання ультразвукових коливань більш високих частот(зменшення довжини хвилі) та використання фокусування коливань, що приводить до збільшення роздільної здатності за рахунок росту акустичного тиску в фокусній зоні.

Фокусування ультразвукових коливань в твердому тілі об'єкту контролю неможливе шляхом використання акустичних лінз-концентраторів внаслідок неминучої трансформації хвиль на границі розділу матеріалу контролю та рідини, що використовується для акустичного контакту.

Фокусування коливань в твердому тілі об'єкту контролю можемо реалізувати з допомогою фазокерованої гратки, яка використовує принцип будови зональної пластини Френеля.

Використання такого перетворювача дозволяє формувати сферичну форму фронту коливань, надходять в задану зону матеріалу об'єкту контролю з розмірами, що не перевищують довжину хвилі та реалізувати прийом коливань відбитих від неоднорідностей в цій зоні.

В даній роботі розглянуто можливість реалізації підвищення просторової роздільної здатності за рахунок фазової вибірковості прийому луно-сигналів, що формуються в наперед заданій зоні контрольованого матеріалу розташованій на осі ультразвукового аналогу зональної пластини Френеля.

Розрахунок геометричних розмірів – радіусів концентричних елементів фазокерованої системи перетворювача виконується згідно наведеної формули:

$$R_i = \sqrt{2 \cdot F \cdot i \frac{\lambda}{8} + i^2 \frac{\lambda^2}{64}}, \qquad (1)$$

де i – номер кільця, F – фокусна відстань, λ – довжина хвилі.

При такому розрахунку ширина кожного кільцевого елементу перетворювача вибирається з умови відповідності фазового зсуву прийнятих ним коливань довжині шляху їх розповсюдження.

Товщина всіх п'єзоелектричних елементів фазокерованої гратки повинна відповідати умові заданої частоти акустичного резонансу коливань при підключенні до них короткого імпульсу напруги.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної статті є теоретичне вивчення системи контролю дефектності стальних матеріалів. На основі літературного огляду проведено аналіз сучасних систем ультразвукового контролю, їхнього застосування та принципу дії. Виявлено проблематику невисокої роздільної здатності в твердотільних матеріалах. Обрани варіанти для підвищення роздільної здатності даної системи.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

П’єзоелектричний перетворювач у вигляді тонкого кільця, коливання якого розповсюджуються в однорідному середовищі, наприклад - в воді чи в твердому тілі, забезпечує фокусування ультразвукових випромінювань вздовж своєї осі [1].

Сферичний або циліндровий хвильові фронти можна синтезувати за допомогою розподілених перетворювачів, але для цього необхідно в сигнали випромінювання окремих елементів перетворювача вносити фазові зсуви або часові затримки, які створюють фронт випромінювання необхідної форми [2].

Фокусуючий перетворювач концентрує енергію акустичного поля в певній області – фокальній зоні, яка при сферичному фокусуванні має вигляд кола, а при циліндричному має вигляд смуги. Перетворювачі, які сфокусовані сферично дають змогу збільшити підвищити роздільну здатність, а циліндрично сфокусовані перетворювачі використовуються для контролю труб і пруткових заготовок [3].

П’єзоперетворювачі, які складаються з декількох кільцеподібних перетворювачів різного радіусу, який зображений на рисунку 1, мають декілька переваг, головною з них є: відсутність великого затухання коливань, яке присутнє при переході границь середовищ, таких як: концентратор – вода і вода – об’єкт контролю. Це виникає із-за того, що відсутня лінза концентратору, яка спотворює значні затухання коливань.

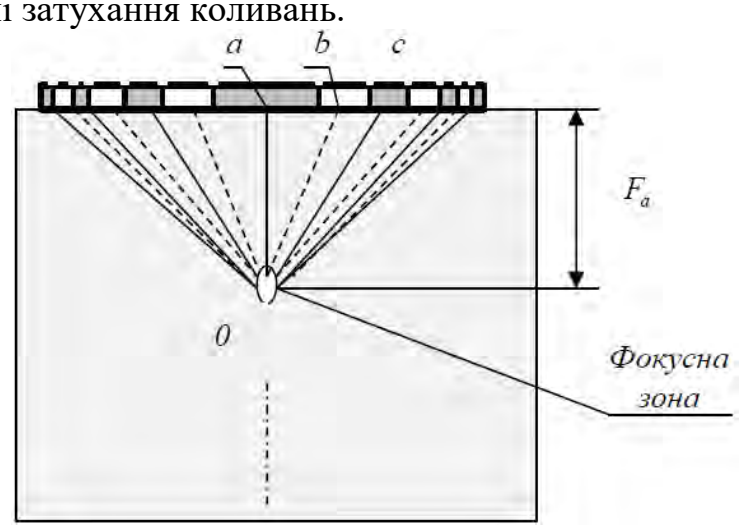


Рисунок 1. Ультразвуковий фокусуючий перетворювач на основі набору перетворювачів кільцевої форми.
F_a – фокусна відстань, *a, b, c* – умовні центри кілець, *O* – фокальна «пляма»

Перетворювач має n-ну кількість кілець. Кожне кільце повинно збуджуватися з певною затримкою, починаючи з першого кільця. Відстань між

кожним сусіднім кільцем може бути мінімальною, наприклад – 1 мм. Ширина кілець може бути однаковою, наприклад 1 мм для контролю об'єктів зі сталі при частоті коливань 1 МГц.

Фокусуючий перетворювач, який побудований з набору кілець не має обмежень для глибини розташування фокусної відстані на відміну від такого же перетворювача, побудованого на основі концентратору [4].

Головним недоліком перетворювача, побудованого з набору кілець є складність реалізації такої системи. При прийомі сигналу необхідно регулювати фазовий зсув. Головною ж перевагою є те, що ми можемо керувати моментами збудження кожного кільця і тим самим змінювати фокусну відстань.

Розрахунок радіусів кільцевих п'єзоперетворювачів можна виконати врахувавши те, що радіус R до центра фокусної зони від середини кожного кільця повинен відрізнятися на ціле число довжини хвилі коливань, що і забезпечить збіг фаз збуджених коливань в певній фокусній зоні на глибині F.

На рисунку 2 представлено функціональну схему на основі фокусуючого перетворювача, побудованого з декількох кільцевих п'єзоперетворювачів.

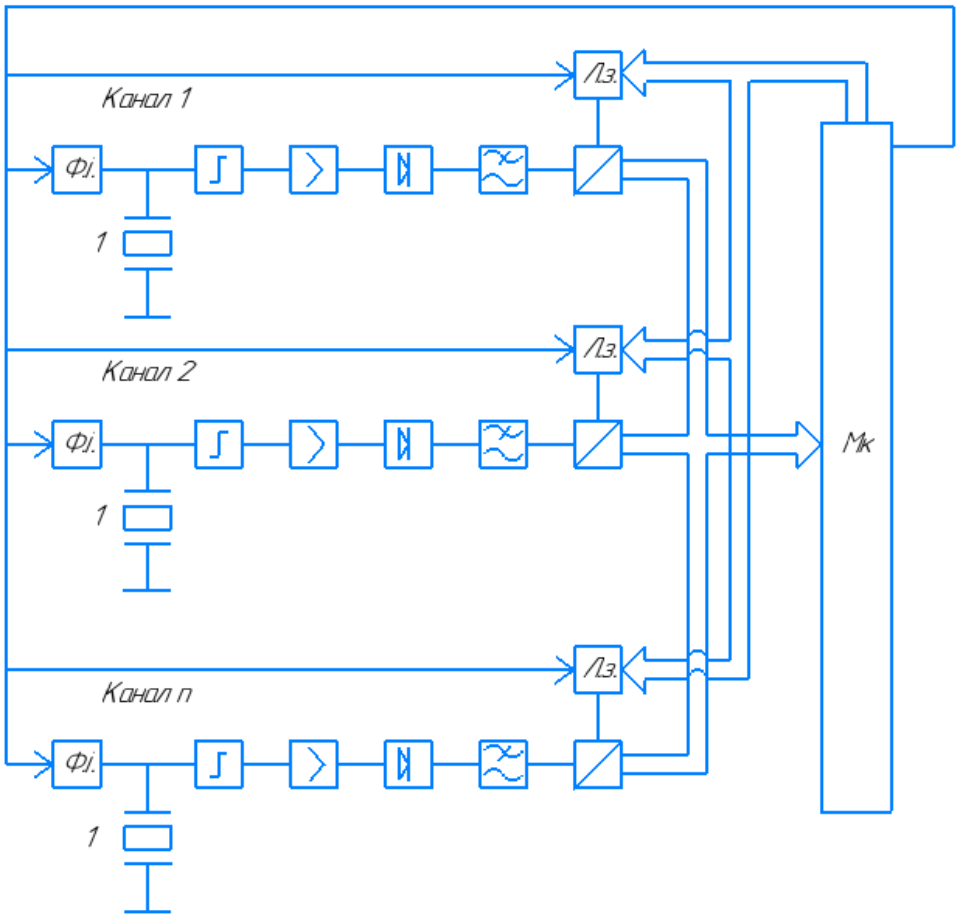


Рисунок 2. Функціональна схема фокусуючого перетворювача, побудованого з кільцевих п'єзоперетворювачів.

Ф.і. – формувач імпульсу; Л.з. – керована лінія затримки; Мк – мікроконтролер, 1 – елемент гратки.

Збудження кожного елементу реалізується за рахунок того, що ми подаємо короткий імпульс з мікроконтролера на формувач імпульсу, далі сигнал йде на

елемент гратки *1*, де формується радіоімпульс коливань, а з нього сигнал йде на двосторонній обмежувач, для того, щоб великий сигнал не пройшов на вхід тракту. Наступним кроком сигнал подається на підсилювач, коефіцієнт підсилення якого вибирається з необхідної роздільної здатності сигналу. Детектор і фільтр виділяють відео-імпульс – огинаючу радіосигналу, яка розраховується за формулою:

$$A(t) = A_m[1-\cos(\frac{2\pi f}{3}t)]\cos 2\pi ft \qquad (2)$$

$$0 \le t \le \frac{3}{f}$$

де f – частота ультразвукових коливань.

Прийом коливань з фокусної зони кожним елементом перетворювача і його перетворення в тракті і наступне кодування в АЦП, реалізується таким чином, щоб луно-сигнал відповідав фокусній зоні. Для цього момент синхронізації формується затримкою імпульсу синхронізуючого роботи системи імпульсу відповідно до затримки коливань на шляху їх розповсюдження. При цьому АЦП кожного елементу синхронізується вихідним сигналом окремих ліній затримки. Встановлення коду затримок кожної лінії затримки реалізується з допомогою програмно-керованого мікроконтролера перед виконанням операції контролю.

ВИСНОВКИ

В даній системі реалізується просторове виділення сигналу відбитого від дефекту в наперед заданій зоні – фокусній зоні фазокерованого дискретного перетворювача. Певним недоліком такого принципу реалізації контролю є відсутність фокусування ультразвукових хвиль на фокусній зоні, що не приводить до збільшення акустичного тиску коливань в місці розташування дефекту. Використання фокусування збуджених коливань приведе до ускладнення системи порівняно з використаною в роботі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] И. Н. Каневский. Фокусирование звуковых и ультразвуковых волн. М. «Наука» 1977 336 с.
[2] Цапенко В.К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В. К. Цапенко, Ю. В. Куц; – Київ: НТУУ “КПІ”.- 2009. - 431 с.
[3] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
[4] Маєвський С.М. Фазовимірювальні системи неруйнівного контролю: навч. посіб. / С. М. Маєвський – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 288 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Маєвський С.М.

УДК 620.179

Д.В. Маснуха, студент гр. ПК-01мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ

Анотація. Дана стаття присвячена важливій для неруйнівного контролю темі, а саме розробці автоматизованої системи для контролю поверхневих дефектів. Стаття складається з вступу, опису основних принципів та висновків.

Ключові слова: ультразвуковий дефектоскоп, поверхневі дефекти, хвилі Релея.

ВСТУП

Порушення вимог якості продукції на виробництві приводить до збільшення затрат при виготовленні продукції, тому з'являється необхідність у контролі її якості. Методика контролю полягає в своєчасному запобіганні порушення вимог і забезпеченні встановленого рівня якості при мінімальних затратах на виробництві.

На сьогоднішній день одним з найефективніших методів для виявлення поверхневих дефектів є ультразвуковий метод неруйнівного контролю. Враховуючи вищесказане, з'являється необхідність в розробці автоматизованої системи для контролю поверхневих дефектів, котра буде складатися з ультразвукового дефектоскопу та автоматизовано сканера, котрий дасть змогу контролювати або об'єкти складної геометрії або ті що знаходяться в агресивному середовищі.

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ

Поверхневі дефекти (Рис. 1) характеризуються малою товщиною в одній площині та значними геометричними розмірами в двох інших. Найчастіше поверхневі дефекти зустрічаються на місцях стику двох орієнтовних ділянок кристалічної решітки. Вони можуть бути представлені у вигляді границь зерен, границь фрагментів всередині зерна та границь блоків всередині фрагментів.

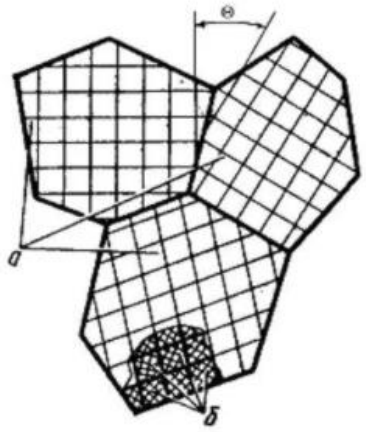


Рисунок 1. Границі зерен, фрагментів і блоків

Ультразвуковий контроль не руйнує і не пошкоджує об'єкт контролю, що є його основною перевагою над іншими методами. Крім того, даний метод неруйнівного контролю забезпечує високу швидкість знаходження дефектів та

достовірність досліджень при низькій собівартості і безпеці для людини.

Для виявлення поверхневих дефектів в даній системі використовуються поверхневі хвилі (хвилі Релея).

Поверхнева хвиля – це хвиля в пружному середовищі, що формується вздовж вільної (або слабко навантаженої) межі твердого тіла і швидко загасає з глибино (Рис. 2) [1].

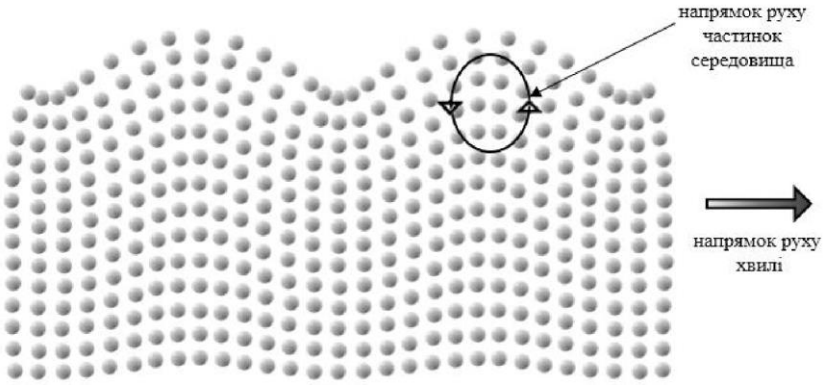


Рисунок 2. Рух частинок середовища при поширенні хвилі Релея

Важливою умовою виникнення поверхневий хвиль Релея є те, що середовище, на яке спрямована ультразвукова хвиля, повинно мати обмежені розміри, щоб створена таким чином поверхнева хвиля надалі могла поширюватись вздовж ненавантаженої поверхні.

Розроблена автоматизована система для контролю поверхневих дефектів складається з ультразвукового дефектоскопу, який за рахунок використання сучасної елементної бази має ряд переваг, таких як: підвищення вірогідності контролю, зменшення габаритних розмірів та енергоспоживання, підвищення надійності роботи (функціональна схема приладу приведена на рис. 3.); стандартних похилих суміщених ультразвукових первинних перетворювачів (Рис. 4) та системи сканування поверхні об’єкта контролю.

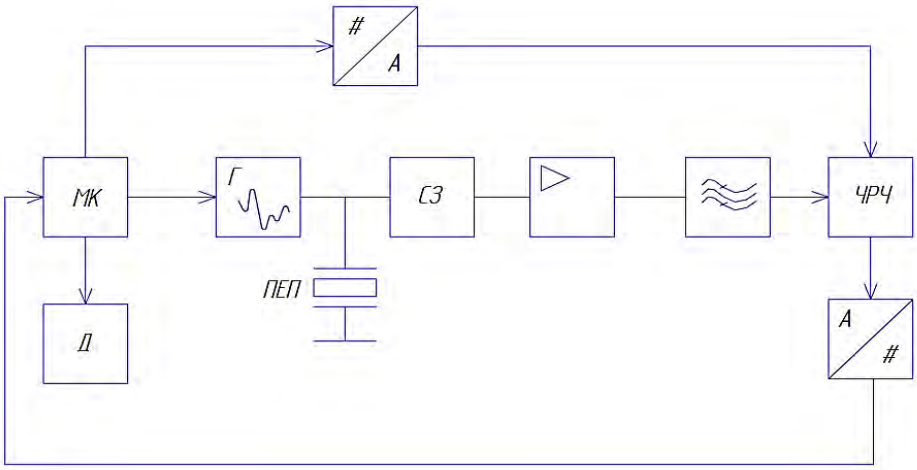


Рисунок 3. Функціональна схема приладу:
Г – генератор зондуючих імпульсів; МК – мікропрецесор; Д – цифровий дисплей;
СЗ – схема затримки; ЧРЧ – часове регулювання чутливості.

В результаті розрахунків визначено що структура та конструкція перетворювача мають вагомий вплив на характеристики визначення дефектів,

тому для зменшення похибки контролю при проектуванні електронної частини системи було враховано та зменшено вплив на сумарну похибку контролю наступних факторів:

- поблизу критичних кутів спостерігається відхилення від закону Снеліуса;
- можливе погіршення чутливості при появі додаткових шумів, у випадку коли бічні пелюстки ДН досить великі.

Рисунок 4. Похилі контактні суміщені ультразвукові датчики

Наявність сканера, в складі системи, дозволяє суттєво збільшити швидкість та продуктивність її роботи, а також за рахунок відсутності впливу суб'єктивного фактору присутності оператора в процесі діагностики виробу, підвищити вірогідність контролю.

ВИСНОВКИ:

В даній роботі розроблено автоматизовану систему контролю поверхневих дефектів. Вона має ряд переваг серед існуючих аналогів: відносно незначні габаритні розміри, низьке енергоспоживання, похибка вимірювання менше 2%, висока швидкодія та продуктивність роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Галаган Р.М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р.М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

[2] Цапенко В.К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю / В.К. Цапенко, Ю.В. Куц. – Київ: НТУУ «КПІ», 2009. – 431 с.

[3] Нездименко Д.В. Ультразвукова дефектоскопія / Д.В. Нездименко // Міжнародна наукова інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 32)» / Збірник тез доповідей: випуск 32 (м.Тернопіль, 16 жовтня 2018 р.). – Тернопіль. – 2018. – 156 с.

Наук. керівник – к.т.н., Богдан Г.А.

УДК 620.179, 629.7.02

Ю.М. Нижник, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Анотація. Стаття присвячена аналізу можливостей використання безпілотних літальних апаратів для вирішення задач неруйнівного контролю та інших сфер життєдіяльності людини. У роботі виконано огляд будови та принципу роботи безпілотних літальних апаратів, показані їх основні переваги та недоліки, а також перспективи застосування. Розглянуто новітню технологію організації безпровідного зв'язку для БПЛА.
Ключові слова: безпілотник, дрон, безпілотний літальний апарат, БПЛА, неруйнівний контроль.

ВСТУП

Візуальна перевірка – це один із найпотужніших та найпопулярніших інструментів у наборі будь-якого дефектоскопіста. Спеціаліст з неруйнівного контролю на основі візуального огляду може легко ідентифікувати корозію, деформації, руйнування покриття, пошкодження ізоляції, нещільність прилягання, витік видимої речовини та структурні пошкодження, прикладів дуже багато. Проблема полягає в тому, щоб отримати чіткий візуальний доступ туди, де потрібно провести контроль, проте в ряді випадків це може бути складно, неможливо або дуже небезпечно. Однак за умови використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) це завдання може бути вирішено.

Сьогодні дрони знайшли широкий спектр застосування насамперед у вигляді невеликих квадрокоптерів та октокоптерів. Наприклад, вони використовуються для моніторингу кліматичних змін, доставки товарів, допомоги в операціях пошуку, відео- та фотозйомок, але не менш частіше у сфері неруйнівного контролю (НК), коли потрібно отримати доступ до віддалених місць, підвищених конструкцій складної геометрії як на відкритому повітрі, так і у вузьких або високих приміщеннях з обмеженим простором.

КОНСТРУКЦІЯ БПЛА ТА ТЕХНОЛОГІЇ ОБМІНУ ДАНИМИ

До одного з найпростіших з точки зору конструкції безпілотних літальних апаратів відносять квадрокоптер.

Конструкція сучасних дронів. Стандартна комплектація квадрокоптера передбачає наявність 4-х електричних двигунів, на кожному з яких закріплений свій повітряний гвинт, акселерометру і альтиметру, посадкових шасі, схеми для бездротового підключення (Wi-fi, 4G, GPS), контролеру польоту, акумулятора та в більшості випадків камери [1].

Існують сотні різних типів датчиків і перетворювачів, які можна встановити на дрон. У тому числі БПЛА можуть бути оснащені засобами неруйнівного контролю, включаючи ультразвукові (УЗ), інфрачервоні (ІЧ) та датчики виявлення газу, інструменти для візуалізації з високою роздільною здатністю, а також мультиспектральні та гіперспектральні камери [2].

Альтиметр (висотомір) дозволяє дрону визначати на якій висоті він знаходиться [3]. Крім того, чіп GPS допомагає утримувати безпілотник у межах осей x та z, коригуючи курс, коли сильний вітер обдуває його (деякі БПЛА витримують пориви до 50 миль на годину без порушення позиціонування).

Технологія гіроскопічної стабілізації є однією з головних компонентів, що забезпечує безпілотний політ дрона. Гіроскоп повинен миттєво реагувати на сили, що чинять тиск на БПЛА. Акселерометр – це датчик, який подає безпілотнику інформацію про його швидкість та напрямок руху.

Бездротові системи зв'язку. Контролеру управління БПЛА необхідно спілкуватися з безпілотником, і зазвичай це роблять за допомогою радіохвиль. Дронами, як правило, керують радіохвилі 2,4 ГГц. Також для реалізації зв'язку багато контролерів БПЛА застосовують сигнал Wi-Fi, що може передаватися на частоті 2,4 ГГц, яку смартфони та планшети можуть використовувати без будь-якого додаткового устаткування.

Мікросхема GPS всередині БПЛА передає своє місце розташування контролеру. Останній також реєструє місце зльоту дрона, якщо йому потрібно буде повернутися в автоматичному режимі. Модуль GPS на БПЛА працює майже так само, як GPS-навігаційні пристрої в автомобілях. Оператор дає вказівки, і безпілотник прокладає шлях з допомогою супутників GPS. Останні моделі дронів мають подвійні глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), такі як GPS та GLONASS.

Для забезпечення високостабільного зв'язку безпілотника з оператором можна використовувати більш досконалу технологію LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks). LoRaWAN – це відкритий енергоефективності мережевий протокол зв'язку, що забезпечує значну перевагу перед Wi-Fi і мобільними мережами завдяки можливості розгортання міжмашинних комунікацій. Технологія LoRa значно підвищує чутливість приймача і, аналогічно іншим методам модуляції з розширеним спектром, використовує всю ширину смуги пропускання каналу для передачі сигналу, що робить його стійким до канальних шумів і нечутливим до зсувів, викликаних неточностями в налаштуванні частот при використанні недорогих опорних кварцових резонаторів. Модем LoRa може приймати і демодулювати сигнали на 19,5 дБ нижче рівня перешкод або шумів. Цей імунітет до перешкод дозволяє використовувати просту і недорогу систему з LoRa модуляцією в тих місцях, де є важка спектральна обстановка, або в гібридних системах зв'язку. У цих випадках використання технології LoRa дозволяє розширити діапазон покриття зв'язку, в той час як інші варіанти модуляції виявляються безсилими. Завдяки своїй чутливості технологія LoRa підходить для пристроїв з вимогами низького споживання енергії і високої стійкості зв'язку на великих відстанях [4].

Отже, для конкретної задачі неруйнівного контролю можна підібрати БПЛА з необхідними параметрами, щоб забезпечити проведення високоточної діагностики з отриманням на виході дуже якісних даних у вигляді фото-, відеоматеріалу для подальшого аналізу спеціалістом.

ВИКОРИСТАННЯ БПЛА В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Сьогодні все більше компаній застосовують технології БПЛА для візуального огляду об'єктів, оскільки це економічно вигідний та ефективний спосіб перевірки на висоті та важкодоступних ділянках.

Використання БПЛА в неруйнівному контролі має такі переваги, як:

швидкий огляд та оцінка стану об’єкту; висока якість фотографій дефектів; доступ до важкодоступних об’єктів; менший час простою обладнання або контроль під час експлуатації; високий рівень безпеки оператора; візуальне охоплення великих територій; значно нижчі витрати на проведення контролю; легко відтворюваний алгоритм процедури для регулярного моніторингу [5].

Безпілотники можуть отримати доступ майже до будь-якої частини будівлі та збирати більше корисної інформації, використовуючи високоякісні зображення, відео та теплові камери. Незважаючи на те, що все ще існує потреба в людському досвіді, перевірка будівель на основі БПЛА є швидшою, ефективною та точною.

Одним із прикладів завдання, що містить велику небезпеку для людини, є перевірка спалаху на нафтогазовій платформі, де факел все ще активний. Тут безпілотники збирають графічні чи термографічні дані про стан спалаху, без зупинки виробництва. Збір даних відбувається в турбулентному та наповненому полум’ям середовищі, тоді як оператор, спеціаліст з НК та працівники знаходяться на безпечній відстані від зони контролю, а значить, поза зоною ризику.

Новою сферою застосування БПЛА став контроль літаків (рис. 1, а). Оснащений лазерним датчиком виявлення перешкод, програмним забезпеченням планувальника польоту та пов’язаний з програмою для перевірки авіаційної техніки, БПЛА прискорить візуальний огляд літака. Цей метод також покращить якість самої перевірки. Спеціалістами вже розроблено програмне забезпечення для перевірки літаків з використанням дронів спеціально для огляду верхніх частин фюзеляжу, що є яскравим прикладом новітнього впровадження технології в НК.

а б

Рисунок 1. Застосування БПЛА для неруйнівного контролю об’єктів:
а) діагностика фюзеляжу літака; б) контроль стану панелей сонячних батарей

Дрони стали життєво важливим інструментом для інспекцій сонячних панелей, збираючи дані більш ніж у 50 разів швидше, ніж ручні методи, та покращуючи безпеку процесу діагностики (рис. 1, б). Поява БПЛА, як інструменту для проведення такого виду робіт, схоже, прискориться, оскільки тенденція до впровадження відновлюваних джерел енергії, як очікується, буде значно зростати в найближчі роки.

Особливо актуально застосовувати вдосконалені безпілотники під час вимірювання викидів димових газів або огляду вітрових турбін, де термографічна камера може виявити розшарування, тобто внутрішні

композиційні шари, що розділяються під поверхнею крила. Дрон збирає фотографії можливих дефектів з високою роздільною здатністю, що дозволяє детально планувати ремонтні роботи, оскільки зібрані дані допоможуть уникнути непередбачуваних ситуацій протягом періоду технічного обслуговування та експлуатації.

Спеціаліст з НК може одночасно проводити кілька інспекцій, поки є достатньо дронів. Є можливість одночасно контролювати всі перевірки з віддаленого місця через мережу інтернет та хмарні системи, що дозволить працювати висококваліфікованому спеціалісту з будь-якої точки світу.

ВИСНОВКИ

Безумовно, використання БПЛА для контролю якості та параметрів об’єктів – це нова технологія, що стрімко розвивається та дозволить поглянути на процес проведення НК під іншим кутом із значною кількістю додаткових переваг, а також значно розширить діапазон можливих об’єктів контролю.

Наступні кілька років стануть новаторськими для сектора БПЛА: на ринку з’являться нові рішення для подолання проблем або підвищення ефективності в різних секторах (нові системи датчиків), збільшиться автономність дронів, розширятися їх можливості для автоматизованої перевірки однакових об’єктів контролю, будуть проводитися навчання спеціалістів з керування безпілотниками та їх сертифікація.

За кордоном вже існують та активно розвиваються фірми, що пропонують послуги НК за допомогою БПЛА, на ринку України поки що небагато таких пропозицій, тож дана галузь є дуже перспективною для розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Up, Upand Away: How Do Drones Work? – Режим доступа: https://www.ctia.org/news/up-up-and-away-how-do-drones-work. – 25.04.2021.

[2] Сторожик, Д. В. Комплексування мультиспектральних зображень, як метод підвищення їх інформативності при бінарній сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов, А. Г. Протасов, В. Г. Баженов, Г. А. Богдан // Наукові вісті КПІ. – 2020. – № 2. – С. 82-87.

[3] Морозов М. А. Современная лазерная дальнометрия / М. А. Морозов, А. В. Муравьёв // Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й международной научнотехнической конференции молодых ученых и студентов, 20-22 апреля. – Минск, Беларусь, 2016. – С. 38.

[4] Разработка и проектирование системы связи беспилотного летательного аппарата для мониторинга промышленных объектов. – Режим доступа: http://masters.donntu.org/2017/fkita/rychkovsky/diss/index. – 27.04.2021.

[5] What Are Drones Used For From Business To Critical Missions. – Режим доступа: https://www.dronezon.com/drones-for-good/what-are-drones-used-for-and-best-drone-uses/. – 29.04.2021.

Наук. керівник – к.т.н. Муравйов О.В.

УДК 629.4.02, 681.892, 681.883

Ю.М. Нижник, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР

Анотація. Стаття присвячена аналізу використання ультразвуку для контролю осей колісних пар рейкового наземного транспорту. У роботі виконано порівняльний аналіз двох існуючих типових видів осей колісних пар, показані їх основні переваги та недоліки, а також перспектива застосування одного виду осі в порівнянні з іншою. Наведені зображення пристроїв для проведення ультразвукового контролю обох видів осей.

Ключові слова: осі колісних пар, ультразвукова дефектоскопія, луно-імпульсний метод .

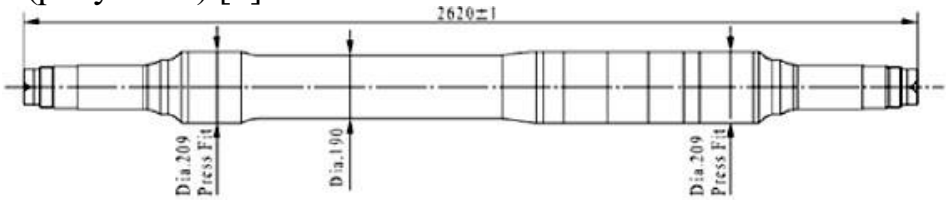
ВСТУП

Розвиток рейкового транспорту – пріоритет будь-якого європейського міста: його перевагою є висока провізна здатність, він екологічний і комфортний для пасажирів – не залежить від кількості заторів на дорогах. Для забезпечення його належної роботи необхідно періодично проводити контроль основних вузлів рухомого складу, а для будь-якого рейкового транспорту це колісні пари.

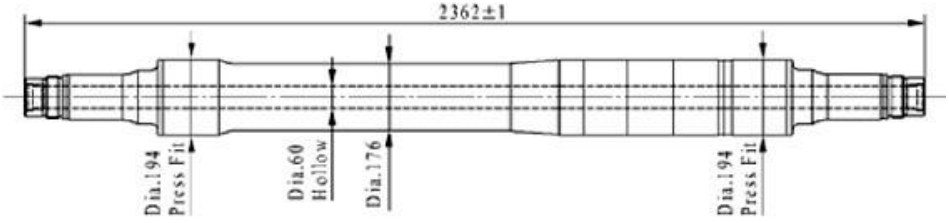
Для поставленого завдання, я вважаю, найкраще підходить акустичний контроль. Ультразвукові методи неруйнівного контролю застосовуються у різних галузях промисловості та медицини: в авіа- та машинобудуванні, приладобудуванні, на залізничному та інших видах транспорту [1]. Відносно проста апаратура, висока продуктивність контролю, можливість її подальшого підвищення за рахунок автоматизації розшифрування результатів - всі ці переваги завоювали для ультразвукових методів одне з провідних місць в дефектоскопії металовиробів.

ПОРІВНЯННЯ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР

Вагонна вісь це елемент колісної пари, на якому закріплюються колеса. Вагонні осі розрізняються за: розмірами основних елементів в залежності від значення прийнятого навантаження, формою шийки осі - для підшипників кочення і підшипників ковзання, формою поперечного перерізу - суцільні або порожнисті (рисунок 1) [2].



(a) 0/100 series(Weight=536 kg, Max. speed=220 kph)



(b) 300N series(Weight=367 kg, Max. speed=270kph)

Рисунок 1. a – суцільна вісь; b – порожниста вісь.

СУЦІЛЬНІ ОСІ:

Значними перевагами є: великий обсяг інформації, різновидів та доведена практикою функціональність колісних пар з суцільними осями. (більш ніж два століття експлуатації); налагоджене виробництво та ремонт деталей; наявність кваліфікованих спеціалістів та приладів для контролю якості.

Проте присутні і недоліки: порівняно вища вартість, як наслідок більшої ваги; більший вплив на верхню будову колії особливо при великих швидкостях.

ПОРОЖНИСТІ ОСІ :

Суттєві переваги, які обґрунтовують раціональність використання порожнистих осей: зниження витрати металу (вага порожнистої осі приблизно на 150 кг менше ваги суцільної); полегшення ваги тари вагона і підвищення його вантажопідйомності (без зміни навантаження на вісь); зменшення витрат на непродуктивне перевезення тари вагонів; зменшення сил динамічної взаємодії рухомого складу та колії, тобто збільшення терміну служби колії; комплектуючі для колісних пар з порожнистими осями такі ж як і для суцільних; непотрібно освоєння кардинально нових знань спеціалістом з ультразвукового контролю (УЗК) для контролю порожнистих осей; можливість проведення УЗК безпосередньо під вагоном (без викочування колісної пари) з мінімальними операціями та впровадження автоматизації процесу [3].

Незважаючи на велику кількість переваг, порожнисті осі мають ряд недоліків: для масового введення в експлуатацію необхідне проведення комплексу стендових і експлуатаційних випробувань; для підвищення межі витривалості осьової міцності необхідні додаткові операції.

МЕТОДИКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР

Ультразвукова дефектоскопія – група методів дефектоскопії, в яких використовують проникаючу здатність пружних хвиль ультразвукового діапазону частот [1]. Акустичний контроль і особливо ультразвуковий луна- імпульсний метод – це один з найбільш універсальних способів неруйнівного контролю, який широко застосовується для транспорту.

Рисунок 2. Автоматична система контролю порожнистих осей

Глибоко проникаючі в товщу металу ультразвукові хвилі дозволяють виявляти не тільки поверхневі, але і заглиблені дефекти. Виключення необхідності повного розбирання вузлів рухомого складу при контролі збільшує їх термін експлуатації, приносить величезну економію коштів і підвищує продуктивність ремонту [4]. Це обумовлює його нинішнє застосування при контролі колісних пар.

При експлуатації рухомого складу з порожнистими осями колісних пар, як правило, застосовують ультразвукову дефектоскопію (УЗД)

за допомогою введення зонда, на якому розташовані датчики в отвір порожнистої осі [5]. Для поїздів даний спосіб дозволяє здійснювати проведення УЗД безпосередньо під складом (без викочування колісної пари) (рисунок 2), а оскільки для колісних пар трамваїв необхідно регулярно проводити процедуру розкантовки (викочування колісних пар для розвороту з метою рівномірного зносу), то контроль доцільніше проводити під час цієїпроцедури (рисунок 3). В будь якому випадку контроль складається змінімальної кількості операцій, а при автоматизації ще і виключаються можливіпомилки оператора.

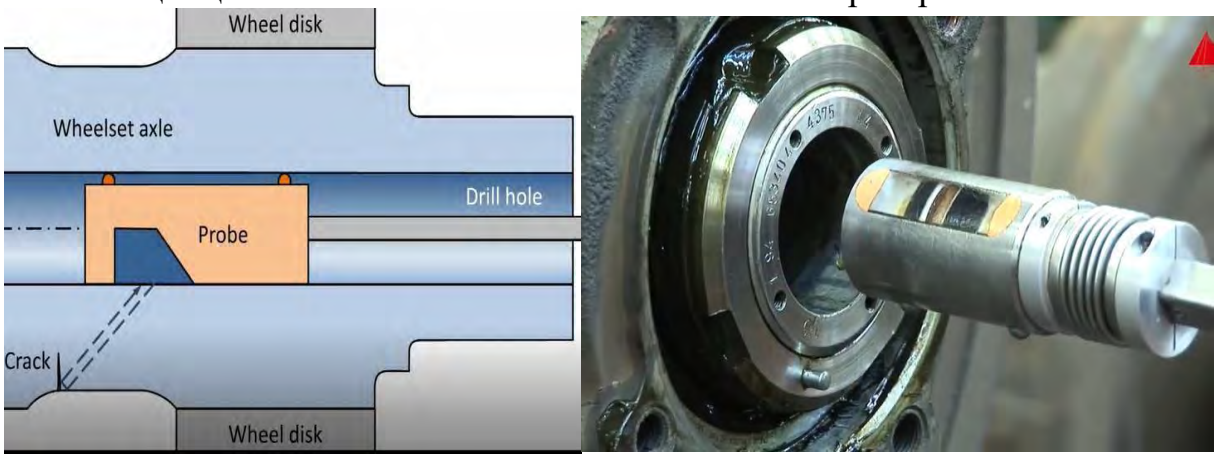


Рисунок 3. Контроль порожнистих колісних пар німецьких швидкісних трамваїв.

Модуль УЗК (рисунок 4) суцільної осі колісної пари складається з двох ультразвукових сканерів - торцевого сканера осі і сканера підматочинної частини осі - і багатоканального дефектоскопа. Модуль забезпечує виявлення в металі осі дефектів відповідно до ЦТ-0069 «Інструкції з ультразвукової дефектоскопії відповідальних деталей та нероз'ємних вузлів при ремонтах ТРС і МВРС». Додатково забезпечується виявлення похилих (до ± 150) тріщин в підматочинній частині та на шийці осі. Кожна зона осі колісної пари прозвучується як мінімум двома, а в більшості випадків трьома променями. Зокрема, шийка (найбільш схильна до зносу частина осі) прозвучується 5-ма схемами контролю. В результаті, забезпечується максимальна достовірність і ефективність контролю.

Рисунок 4. Контроль суцільних колісних пар модулем УЗК.

ВИСНОВКИ

Будь-яка конструкція, навіть перевірена часом, іноді потребує вдосконалення і в даній роботі ми розглянули саме такий випадок. Суцільні осі колісних пар протягом довгого часу успішно виконують свою задачу, проте використання вдосконаленої конструкції – порожнистої осі – дозволитьотримати більшу кількість переваг за меншу ціну. На мою думку головними перевагами є: раціональне використання вичерпних ресурсів, зниженнясобівартості, особливо за умови, що переважна більшість рейкового транспортує державним, та для зменшення руйнуючого впливу на інші деталі конструкції, що в свою чергу зменшую вартість ремонту.

Щоб забезпечити надійність нової конструкції необхідно впровадити відповідний спосіб неруйнівного контролю на етапах виготовлення та експлуатації і для порожнистої осі найкраще підходить ультразвуковий метод контролю. Оскільки спосіб контролю суцільної та порожнистої осі відрізняються доцільно буде спроектувати ультразвуковий дефектоскоп для конкретного виду використовуваної порожнистої осі.

Колісні пари з порожніми осями застосовуються в ФРН, Швейцарії та в деяких інших країнах Західної Європи. Ці розвинуті країни є яскравим прикладом успішного використання порожнистих осей та розвиненої системи їх контролю ультразвуком, що наглядно демонструє можливість впровадження такої системи та є прикладом для наслідування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

[2] Вагоны промышленного железнодорожного транспорта - колесные пары [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://lokomo.ru/podvizhnoy-sostav/vagony-promyshlennogo-zheleznodorozhnogo-transporta-4.html.

[3] Новиков В. В. Полая вагонная ось для нагрузки 25 тс [Електронний ресурс] / В. В. Новиков – 2011. – Режим доступу до ресурсу: http://scbist.com/zh-d-stati/6589-statya-polaya-vagonnaya-os-dlya-nagruzki-25-ts.html.

[4] Шумаков Г. В. Ультразвуковой контроль оси колёсной пары электровоза ВЛ-10 [Електронний ресурс] / Г. В. Шумаков // Уральский государственный университет путей сообщения Кафедра «ТКМ и химии». – 2008. – Режим доступу до ресурсу: https://works.doklad.ru/view/RfEoimFM5cY/all.html.

[5] Князєв Д. О. Обгрунтування періодичності огляду порожнистих осей колісних пар високошвидкісного рухомого складу : дис. канд. техн. наук / Князев Дмитро Олександрович – Москва, 2019. – 138 с.

Наук. керівник – к.т. н., доцент Галаган Р.М.

УДК 620.179

Д.В. Петренко, студент гр. ПК-01мн
КПІ ім. Ігоря Сікорського

НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ВИРОБІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ ТА БАГАТОШАРОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. Стаття присвячена аналізу методів неруйнівного контролю композиційних та багатошарових матеріалів. У роботі приведено опис композиційних та багатошарових матеріалів, досліджено актуальність удосконалення методів контролю виробів з таких матеріалів та проаналізовано методи неруйнівного контролю. Актуальність даної роботи полягає у визначенні найбільш оптимального методу контролю для його подальшого удосконалення.

Ключові слова: неруйнівний контроль, композиційні та багатошарові матеріали, нейронні мережі, тепловий, акустичний, радіаційний контроль.

ВСТУП

На сьогоднішній день вироби з композиційних та багатошарових матеріалів набули широкої сфери застосування в галузях промисловості. Вони використовуються в будівництві, автомобільній промисловості, авіації, з цих матеріалів виготовляють елементи корпусів літаків, гоночних автомобілів та інші деталі. Через важливість використання таких матеріалів підвищуються вимоги до контролю їх якості. Своєчасне виявлення дефектів призводить до запобігання значних матеріальних втрат та навіть людських.

АНАЛІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТА БАГАТОШАРОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Вироби із композиційних і багатошарових матеріалів, в даний час набувають все більш широкого використання. Спостерігається постійне розширення областей використання таких матеріалів. Композиційні матеріали характеризуються істотною неоднорідністю структури, великою кількістю різноманітних типів армування (комбінований, односпрямований, поздовжньо-поперечний тощо), анізотропією властивостей, специфічними фізичними властивостями такими як: низька теплопровідність, високі електроізоляційні якості, звукоізоляція, малі значення густини (0,03 – 2,0 г/ $см^3$), великою різноманітністю фізико-механічних характеристик. Для цих матеріалів у одних і тих же методах неруйнівного контролю відношення сигнал/шум менше, ніж для металів. Таким чином для одних і тих ж методів контролю роздільна здатність та чутливість стосовно композиційних матеріалів нижче, ніж для інших однорідних матеріалів таких як металів.

Композиційний матеріал являється неоднорідним матеріалом, який містить декілька компонентів. Для забезпечення високих механічних властивостей використовуються елементи армування. За допомогою матриці ці елементи з’єднуються в одну суцільну конструкцію, яка піддається механічному навантаженню. Міцність зв’язку між елементами армування та матрицею і співвідношення їхніх властивостей визначають механічну поведінку композитів. Комплексні властивості матеріалу залежать від правильного підбору початкових компонентів і технології їх поєднання. Поєднання матриці з елементами армування зберігає не тільки особливості вихідних матеріалів, а й надає структурі нових властивостей: значно підвищує стійкість матеріалу до появи

тріщин та розшарувань завдяки границям розподілу між елементами армування та матрицею. Збільшення статичної міцності в композитних матеріалах призводить до підвищення в'язкості руйнування, що відрізняє їх від однорідних матеріалів[1].

Під час виготовлення композитів внаслідок нерівномірного розподілу з'єднуючого матеріалу, внутрішніх напружень та інших факторів можуть виникати: (рис. 1) тріщини, розшарування, рихлість, обриви ниток, джгутів арматури та інших елементів, інколи можуть зустрічатися включення сторонніх матеріалів тощо [2].

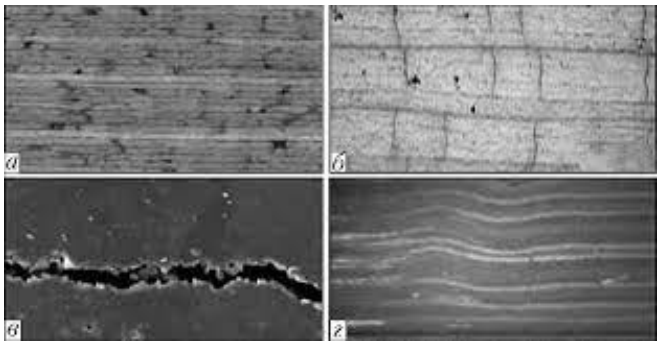


Рисунок 2. Дефекти композиційних матеріалів: а–пори, б–тріщини, в– розшарування, г–хвилястість

В процесі експлуатації дефекти композиційних матеріалів можуть стрімко збільшуватись, на відміну від металів, це призводить до зниження надійності конструкції. Через тріщину матиці в середину композиту може попасти волога і це призведе до розриву та відповідно зниження модуля пружності. Дефект у вигляді розшарування призводить до зниження міцності, обриву волокон, зменшує зусилля на розрив.

АКТУАЛЬНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЮ ВИРОБІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Композиційні матеріали значно перевершують однорідні матеріали (метали та їх сплави) за наступними основними параметрами: питома міцність, жаростійкість, надійність, стійкість до ерозії. Такі суттєві переваги призвели до широкого використання таких матеріалів. Найчастіше їх використовують у складі несучих конструкцій та деталей, які перебувають в складних експлуатаційних умовах та піддаються високим навантаженням. Від технічного стану таких виробів може залежати не лише працездатність цінного обладнання, а й людські життя. Тому до надійності композиційних матеріалів висуваються високі вимоги.

На результати контролю таких матеріалів впливає велика кількість різних факторів, обумовлених змінами властивостей, які виникають внаслідок складності процесів виготовлення композитів, великою кількістю різних можливих дефектів, недосконалістю обладнання тощо. Особливості фізичних характеристик та властивостей композиційних матеріалів ускладнюють використання багатьох існуючих методів неруйнівного контролю. Системи контролю повинні розділяти сигнали приймаючи до уваги велику кількість інформативних параметрів, які характеризують об'єкти контролю. Визначення

параметрів дефектів ускладняється внутрішньою будовою композиційних матеріалів, що не дозволяє використовувати існуючі моделі для ефективного вирішення таких задач[3].

Таким чином існує необхідність у розробці нових методик і систем контролю виробів з композиційних матеріалів. Потреба в автоматизації та підвищенні інформативності контролю вимагають використання новітніх систем обробки інформації, зокрема, на базі нейронних мереж.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

За своєю фізичною природою більшість типів композиційних матеріалів являються поганими діелектриками або провідниками, це залежить від виду використаного наповнювача. Також, майже всі вони є немагнітними матеріалами, що суттєво звужує коло методів неруйнівного контролю, які можуть бути використані для контролю виробів з таких матеріалів.

Ультразвукові методи неруйнівного контролю мають обмежене використання, внаслідок згасання ультразвукових хвиль в матеріалі, що суттєво обмежує діапазон контрольованих товщин композиційних матеріалів. Окрім цього, в деяких випадках неможливо використовувати методи, які передбачають змочування поверхні об’єкта контролю, тому що певні види композитів можуть вбирати вологу.

Для контролю багатошарових конструкцій та композиційних матеріалів також застосовують низькочастотні методи акустичного неруйнівного контролю. Більш ефективними є методи з використанням безконтактного перетворювача або сухого контакту перетворювача із поверхнею об’єкта контролю. Такі низькочастотні методи використовуються для контролю композитів на основі вуглецевих, органічних, скляних або борних волокон з метою виявлення в багатошаровій структурі областей порушення з’єднань. Наведені вище методи дозволяють виявляти дефекти в зонах де порушуються клейові з’єднання між матеріалами армування та неметалевою матрицею. До недоліків таких методів можна віднести складність інтерпретації отриманих даних і автоматичної класифікації дефектів, що потребує пошуку засобів підвищення достовірності та інформативності контролю.

Часто для контролю композиційних матеріалів використовується метод вільних коливань. Він заснований на аналізі характеристик вільних коливань об’єкта, що вібрує після удару. Цей метод широко використовується для визначення непроклеїв, розшарувань, повітряних порожнин. Низькочастотними акустичними методами не виявляються зони з порушенням зчеплення шарів, які не мають заповненого газом проміжку [4].

Радіаційний контроль теж є одним з поширених способів діагностики композиційних матеріалів. До широкого розповсюдження даного методу призвела висока роздільна здатність та інформативність рентгенографії. Ці методи особливо ефективні для виявлення неоднорідності структури, пор, пропусків або обривів елементів армування, розшарувань, сторонніх включень. Але рентгенівські методи не дозволяють виявляти дефекти, які орієнтовані

перпендикулярно напрямку просвічування.

Комп'ютерна томографія є ефективним засобом отримання зображення внутрішньої структури виробів, роздільна здатність сягає декількох мікрометрів. Це дозволяє виявити окремі волокна та їх обриви у вуглепластиках, але суттєвим обмеженням є вимоги до розмірів та геометрії об'єктів контролю[5].

Тепловий контроль є одним з найперспективніших напрямів неруйнівного контролю виробів з композиційних матеріалів. Висока чутливість сучасного тепловізійного обладнання дозволяє фіксувати мінімальні температурні зміни, які виникають в місцях появи дефектів під час механічних навантажень на виріб. Активний тепловий контроль є відносно простим, безконтактним і безпечним, також дозволяє проводити дослідження широкого кола виробів, включаючи стільникові панелі, це робить його одним з найбільш універсальних методів неруйнівного контролю [6]. Недоліком методу є складність рівномірного нагріву об'єкта і високі рівні завад

ВИСНОВКИ

Провівши аналіз методів неруйнівного контролю в задачах контролю виробів з листових композиційних матеріалів, завдяки ряду переваг, оптимальним методом контролю композиційних матеріалів обрано методи активного теплового неруйнівного контролю. Тому актуальним є удосконалення саме цих методів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] А. С. Момот та Р. М. Галаган, «Тепловізійний контроль електрообладнання із застосуванням штучних нейронних мереж,» в Збірник тез доповідей 4-тої науково-практичної конференції студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання», ІваноФранківськ, 2013.

[2] З. Т. Назарчук, В. В. Кошовий, В. Р. Скальський, О. П. Бухало та Р. Воробець, Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довід. посіб., т. 5, Л.: НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка, 2001, 1134 с

[3] Протасов А. Г. Метод статистической обработки результатов импедансного метода контроля / А. Г. Протасов // Фізико-хімічна механіка матеріалів (Львів). – 2016. – №4. – С. 137-141.

[4] В. Д. Байда, А. И. Цехан и П. А. Гнаткович, «Неразрушающий контроль отслоений покрытий из композиционных материалов,» Техническая диагностика и неразрушающий контроль, № 2, pp. 86-89, 1990.

[5] R. A. Smith, "Composite defects and their detection," Mater. Sci. Eng., no. 3, pp. 103-143, 2009.

[6] Protasov A. Active Infrared Testing of Composites using 3D Computer Simulation // International Journal of Technology. – 2018. - Vol. 9, No 3. – p.p. 632-641.

Наук. керівник – Протасов А. Г.

УДК 004.032.26

Складчиков І.О., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СМАРТ-ТЕПЛОВІЗОР НА ОСНОВІ ДАТЧИКА AMG8833

Анотація. В даній роботі описану розробку бездротового тепловізора на базі датчику AMG8833 з використанням мікроконтролера ESP8266. Написано програмне забезпечення, яке відправляє на сервер масив температурних значень теплового поля, яке в подальшому обробляється та виводиться на екран в кольоровому діапазоні. Проаналізовано переваги та недоліки даної розробки і описано перспективні області використання пристрою.
Ключові слова: тепловізори, смарт-прилади, температурні датчики, мікроконтролери.

ВСТУП

На сьогоднішній день, разом з розробкою нових датчиків та сенсорних мереж увага багатьох досліджень орієнтована на надання персоналізованих послуг для користувачів з метою використання їх у повсякденному житті. Наприклад, для локалізації людини або виявлення її місцезнаходження, супроводження діяльності та у питаннях безпеки. Одним із таких приладів є смарт-тепловізор. Традиційні відеокамери не підходять для використанні у побуті людини в домашньому середовищі через проблеми конфіденційності. Це спрямовує сучасні дослідження у напрямку пошуку інших технологій та розробки нових датчиків. Саме внаслідок цього стає все більш популярним використання інфрачервоних датчиків у системах відеоспостереження та смарт-будинках [1].

Як вказано у роботі [2], незважаючи на зростаючий інтерес, сьогодні існує лише невелика кількість виробників таких пристроїв. Зазвичай сучасні смарт-тепловізори мають низьку роздільну здатність, від 8x8 до16x16 пікселів. Водночас, навіть такі параметри дозволяють використовувати дані пристрої в побуті та навіть промисловості. Є багато потенційних областей таких застосувань: для автоматизації розумних будинків, виявлення пожеж, домашнього спостереження, моніторингу температури, передбачення небезпечних подій тощо.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Сучасні інфрачервоні датчики дозволяють отримувати та опрацьовувати термограми в режимі реального часу. Наприклад, зображення певного предмета або приміщення (кухні, побутової техніки тощо) можуть бути оброблені та проаналізовані для того, щоб визначити, чи існує потенційний перегрів або ризик виникнення небезпечної ситуації. В роботі [3] описана технологія розумного будинку. Дана парадигма охоплює широкий спектр рішень для виконання автоматизованих завдань. Це і питання безпеки, і енергозбереження, вентиляцію, розумна кухня тощо. Все вищезазначене виконується за допомогою розумних пристроїв, таких як пульт дистанційного керування, сигналізація безпеки, і датчики. Авторами представлено вищезазначені технології та інструменти, які можуть бути інтегровані в системи розумних будинків. Перспективними названі температурні та інфрачервоні датчики.

У роботі [4] розроблено економічно вигідну альтернативу інфрачервоних камер - бездротовий сенсорний пристрій, який можна застосовувати в галузі

інтелектуальних систем охорони здоров'я та у сфері контролю домашньої безпеки. Він використовує новий інфрачервоний датчик MLX90640. У складі пристрою також застосовується апаратна мікроконтролерна платформа з модулем Wi-Fi, як для збору даних з датчика та їх обробки, так і для їх передачі на підключені до Інтернету пристрої. Стаття демонструє переваги використання порівняно недорогого датчика та апаратної плати для розробки рішення з декількома додатками та гнучким підключенням до інших розумних пристроїв через веб-інтерфейс.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Завданням даної роботи є розробка бездротового тепловізора, який в подальшому можна використовувати у задачах автоматизації та контролю виробничих процесів або в якості системи контролю безпеки в домашніх умовах. Основними компонентами запропонованого рішення є інфрачервоний датчик AMG8833 та платформа ESP8266 – мікроконтролер з вбудованим інтерфейсом Wi-Fi. В запропонованій системі використовується тришарова архітектура, де ESP8266 виступає як колекторний прошарок і мережевий рівень. Прошарок програми залишається відкритим, щоб користувач міг задовольнити конкретні потреби кожного рішення.

Система розроблена на основі інтернету речей, який має вбудовані технології, що дозволяють здійснювати взаємодію з зовнішнім середовищем, повідомляють про свій стан і приймати дані ззовні. Функціональна схема розробленого рішення на основі інтернету речей та бездротового інфрачервоного датчика представлена на рис.1.

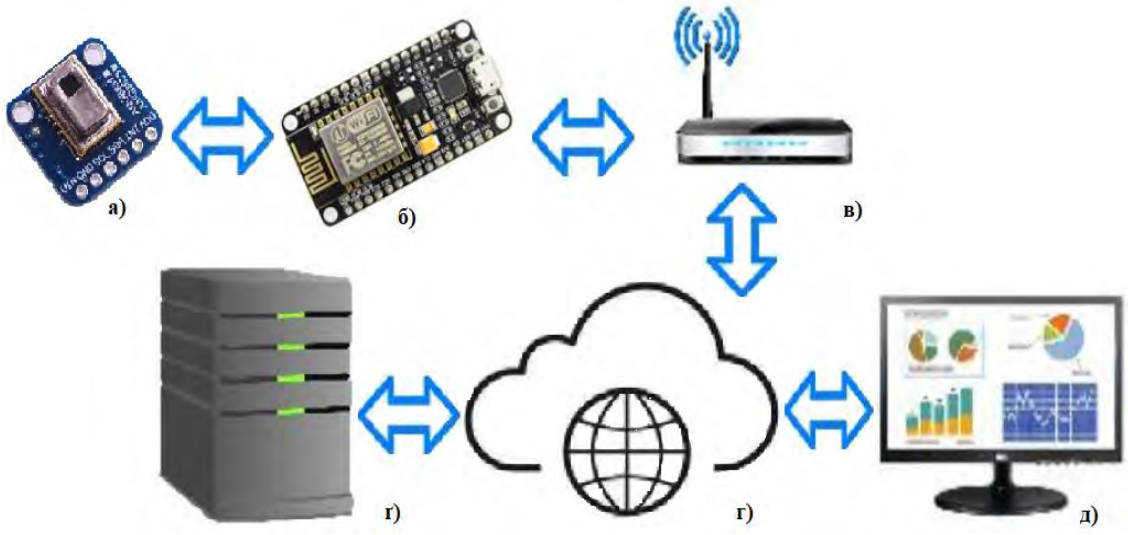


Рис.1. Функціональна схема розробленого рішення.
а) AMG8833; б) ESP8266; в) роутер; г) інтернет з'єднання; ґ) сервер; д) клієнт

ДатчикAMG8833 повертає матрицю 8x8 пікселів із вихідними значеннями отриманих даних. Кут огляду датчика становить 60°, а дальність вимірювання до 7 метрів. Максимальна частота формування кадрів становить 10 кадрів / с. Точністю вимірювань дорівнює ± 2.5 ° C, а робочий діапазон температур становить від 0 до 80°C. ESP8266 виконує два основних завдання:

- зчитування даних з датчика за допомогою інтерфейсу I2C і обчислення температури для кожного з 64 пікселів;
- організація взаємодії з користувачем через веб-інтерфейс.

В розробці було використано безкоштовний сервер та середовище Arduino для написання програмного коду для мікроконтролера. На сервері було написано програму на мові програмування Java, яка автоматично отримувала та оброблювала температурний масив значень датчика AMG8833 та виводила у відповідне віконце термограму у обраній температурній шкалі.

Головним недоліком даної системи є маленька роздільна здатність датчика AMG8833 та відсутність автоматизації процесу спрацьовування системи в потенційно небезпечній ситуації. Для вирішення даних проблем можна використовувати вже розробленні алгоритми Kneson Software, які дозволяють якісно збільшити зображення у 2-3 рази без помітної втрати якості. Для автоматизації системи можна використовувати глибинне навчання [5].

ВИСНОВКИ

В даній роботі розроблено перспективний пристрій у вигляді бездротового тепловізора, який можна застосовувати в інтелектуальних системах різноманітного направлення. У розумних будинках пристрій може бути використаний для виявлення певних перепадів температури на конкретних локаціях. Ці дані можна використовувати, щоб уникнути ризику перегріву та потенційної пожежі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Bergery M. Room Occupancy Measurement Using Low-Resolution Infrared Cameras / M. Bergery, A. Armitage. // Signals and Systems Conference. – 2010. – №12. – С. 249–254.

[2] Maaspuro M. Infrared Occupancy Detection Technologies in Building Automation - a Review / Mika Maaspuro. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018. – №19. – С. 8055–8068.

[3] Kadam R. Smart home system / R. Kadam, P. Mahamuni, Y. Parikh. // International Journal of Innovative research in Advanced Engineering (IJIRAE). – 2015. – №1. – С. 123–128.

[4] Grisha Spasov, Vasil Tsvetkov, Galidiya Petrova Using IR array MLX90640 to build an IoT solution for ALL and security smart systems / Grisha Spasov, Vasil Tsvetkov, Galidiya Petrova // Proc. XXVIII International Scientific Conference Electronics - ET2019, September 12 - 14, 2019, Sozopol, Bulgaria

[5] Галаган Р.М. Аналіз методів цифрової обробки термограм / Р. М. Галаган, А. С. Момот. // Вісник Київського політехнічного інституту. Серія приладобудування. – 2018. – №55. – с. 108–117

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.

УДК 004.032.2, 620.179:620.19

Складчиков І.О., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

Анотація. В даній роботі розглянуто основні можливості автоматизації ультразвукового неруйнівного контролю. Запропоновано використання оптимальної нейронної мережі для даного завдання, а саме, Fuzzy ARTMAP, що в подальшому призведе до підвищення ефективності контролю виробів.
Ключові слова: ультразвукова дефектоскопія, нейронні мережі, Fuzzy ARTMAP.

ВСТУП

На сьогоднішній день, широке застосування приладів неруйнівного контролю якості зумовлено підвищенням вимог до надійності і безпеки роботи обладнання промислових підприємств. Неруйнівний контроль є невід'ємною частиною технічного діагностування і використовується для оцінки технічного стану вузлів обладнання, окремих компонентів та інше. Серед методів неруйнівного контролю провідне становище займає ультразвуковий контроль. Ультразвукова дефектоскопія має ряд переваг в порівнянні з іншими методами НК, а саме: низька вартість контролю порівняно с радіографічним методом та течешукання, висока швидкодія, можливість контролю неметалічних ОК, безпечна на відміну від радіографічного методу, відсутність впливу теплових завад на результат контролю, висока чутливість (дозволяє визначати дефекти розміром до 10 мкм)[1].

Ультразвуковий контроль містить безліч різних методів. Однак, найпопулярнішим є луна-метод. Метод оснований на аналізі луно-імпульсів отриманих завдяки відбиванню від дна об’єкта контролю донного сигналу від дефекту. Для проведення дефектоскопії використовують різні види хвиль : повздовжню, поперечну, нормальну та сферичну. Використання той чи іншої хвилі обумовленої матеріалом ОК та його конструкції. Для визначення товщини виробу вимірюють час повернення донного сигналу та помножують його на швидкість звука в середовищі. У випадку якщо невідома товщина виробу, то вимірюють швидкість по донному сигналу і оцінюють його загасання, згідно отриманих значень, визначають товщину матеріалу. Результатом контролю є отримані значення координат та розмірів дефекта[2].

Ультразвукова дефектоскопія дозволяє контролювати зварні з'єднання посудин, апаратів високого тиску, трубопроводів, блоків будівельних конструкцій та іншої продукції. Ультразвуковий контроль є обов'язковою процедурою при виготовленні і експлуатації багатьох відповідальних виробів, таких як частини авіаційних двигунів, трубопроводи атомних реакторів або залізничні рейки.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати ультразвукового сканування - це масив значень амплітуд луна-сигналів на різних глибинах. Розмірність такого масиву визначається геометричними розмірами скануючої деталі, а також роздільною здатністю

приймальної апаратури. Значення амплітуд луна-сигналу дискретизується для зручності цифрової обробки. З метою аналізу отриманих дефектограм оператором проводиться їх візуалізація. Крім цього в процесі виконання ультразвукового контролю створюються амплітудно – часові графіки, які показують залежність амплітуди отриманого ехо-сигналу від часу (товщини).

Для проведення контролю необхідна наявність оператора (дефектоскопіста) основне завдання якого є контроль за зміною значень на отриманому А-скані та налаштування контрольно-вимірювальних операцій тобто задання бракувальних рівнів тощо. Тому автоматизація є перспективним напрямком розвитку. Для цього необхідно автоматизувати аналіз дефектограм на рівні амплітуд луна-сигналів. Така автоматизація дозволить знизити навантаження на оператора, підвищити надійність і скоротити час, що витрачається на проведення контролю. В кінцевому рахунку це призведе до підвищення ефективності контролю виробів в цілому[3].

При автоматизації процесу ультразвукового неруйнівного контролю необхідно вирішити задачу знаходження і розпізнавання образів на отриманих дефектограмах. Для вирішення задачі розпізнавання існує кілька способів, один з яких передбачає використання штучної нейронної мережі.

Для якісного реалізації процесу розпізнавання необхідно вибрати з безлічі різноманітних методів та реалізацій цих методів такий метод, який повинен реалізувати поставлену задачу в повній мірі. Для вибору потрібного методу необхідно провести порівняльну характеристику існуючих методів на основі якої вибрати потрібний метод[4].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика нейронних мереж

Архітектура	***Переваги***	***Недоліки***
The Adaptive Resonance Theory (ART)	Особливість цієї мережі в наявності спеціального алгоритму який дозволяє вирішити головну проблему нейронних мереж призначених для моделювання сприйняття. Мережа на вході приймає аналогові вектори.	Наявність великої кількості синаптичних зв'язків, які можуть в результаті навчання стати нульовими. Наявність локалізованої пам'яті
Perceptron	Простота реалізації	Відсутність алгоритму призначеного для рішення стабильности-пластичности.
Kohonen's Self-Organizing Map (SOM)	Наявний алгоритм призначений для вирішення проблем класифікації та кластеризації	Наявність групування класів, отриманих в результаті розбиття на класи
Hopfield networks	Дозволяє провести процес навчання всього за одну операції, для цього розроблений спеціальний алгоритм	Наявний невеликий запас пам'яті.
Fuzzy ART	Дозволяє вирішити головну проблему нейронних мереж: проблему стабільності-пластичності.	Наявність процесу навчання без вчителя. Неефективне використання вихідних даних
Fuzzy ARTMAP	Навчання з вчителем. Вирішує проблему стабільності-пластичності. Працює з аналоговими векторами.	Трудомісткий процес складання навчальної вибірки і підбору параметра подібності.

Відносно таблиці 1 ми можемо зробити вибір оптимального методу для поставленого завдання. Згідно поставленого завдання нейронна мережа повинна

відповідати таким вимогам: кожен об'єкт нейронної мережі повинен мати відповідний зразок дефекту, великий обсяг оброблюваних даних, забезпечення значення заданої точності до 80%, висока швидкодія, виконання завдання в реальному часі, максимально ефективне використання вихідних даних та вирішена проблема стабільності-пластичності.

Оптимальним вибором є нейронна мережа Fuzzy ARTMAP, яка в повній мірі забезпечить виконання поставленого завдання. Архітектура Fuzzy ARTMAP відноситься до сім'ї архітектур адаптивного резонансу. Вона складається з двох мереж ART-2 та контролера. Кожна з мереж має своє призначення, так перша призначена для формування класів згідно яких проводиться розпізнавання вхідних об'єктів, так як друга призначена для формування внутрішніх класів першої мережі та розділення на класи, задані в процесі навчання. В свою чергу контролер призначений для керування мережами та формує висновок по відповідному об'єкту.

Завдяки використанню мереж ART мережа Fuzzy ARTMAP дозволяє працювати з безперервними вхідними даними. Завдяки використанню нейронів призначених для визначення максимуму та мінімуму замість операцій порівняння обчислення зважених сум, в результаті чого була підвищена швидкість обчислень. Також в мережі наявна можливість навчання з вчителем реалізована завдяки використанню двох мереж. Крім цього завдяки наявності спеціального алгоритму, основаного на регулюванні числа нейронів, була вирішення проблема стабільності-пластичності.

Використання нейронних мереж такого типу дозволяє ефективно виконувати завдання аналізу дефектограм одержаних в результаті ультразвукового контролю. Завдяки нейронним мережам є можливість реалізувати автоматизовану систему призначену для контроля дефектограм, при цьому забезпечити підвищення швидкості аналізу, обробки даних та підвищити точність завдяки зменшенню суб'єктивної похибки[5].

ВИСНОВКИ

В даній роботі запропоновано використання нейронної мережі Fuzzy ARTMAP для автоматизації аналізу та інтерпретації дефектограм отриманих в результаті ультразвукового контролю. Проаналізувавши переваги та недоліки, порівнявши характеристики декількох існуючих мереж, можна зробити висновок, що використання нейронної мережі Fuzzy ARTMAP для аналізу дефектограм призведе до вирішення актуальних проблем, а саме: зниження вартості, збільшення швидкодії, забезпечення необхідної точності обробки даних, крім цього система забезпечує виконання всіх умов поставленого завдання. Наступним етапом дослідження є оптимізація Fuzzy ARTMAP завдяки компенсації наявних недоліків архітектура завдяки оптимізації трудомісткого процесу складання навчальної вибірки та підбору параметра подібності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263
[2] Цапенко В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: навч.посіб./ В. К. Цапенко, Ю.В.Куц, 2009.—264 с.
[3] Качура С. М. и др. Применение искусственных нейронных сетей в задачах ультразвукового неразрушающего контроля / С. М. Качура, В. И. Постнов, О. Л. Бурхан. // Теоретические и практические аспекты развития отечественного авиастроения. – 2012. – №33. – С. 43
[4] Гуськов Г. Ю. Выбор типа искусственной нейронной сети для решения задачи ульразвукового неразрушающего контроля / Г. Ю. Гуськов. // Информатика и вычислительная техника. – 2012. – С. 163–16
[5] Momot A. Influence of architecture and training dataset parameters on the neural networks efficiency in thermal nondestructive testing / A. Momot, R. Galagan. // Sciences of Europe. – 2019. – №44. – pp. 20–25.

Наук. керівник – доцент Галаган Р.М.

УДК 681.586.48

Стешенко Я.В., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ В РОЗУМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Анотація. Розглянуто кілька сценаріїв, в яких ультразвукові датчики використовуються для моніторингу пацієнтів та літніх людей. У кожному сценарії застосовуються різні алгоритми передачі даних та вибору датчиків, використовуючи підходи, що базуються на якості або поділі часу. Розглянуто розроблені алгоритми узгодження траєкторій для класифікації траєкторій руху людей у приміщенні.

Ключові слова: мережа датчиків, ультразвукові датчики, якість інформації, розумні середовища.

ВСТУП

Одне з ключових застосувань сенсорних мереж - сфера інтелектуального середовища. У таких інтелектуальних системах один або кілька типів сенсорів розташовуються для збору та передачі даних для отримання корисної інформації. Однак, враховуючи конкретну програму, наприклад моніторинг пацієнтів з деменцією, який тип сенсора вибрати? У системах без використання комп'ютерного бачення, ціль повинна носити спеціальні пристрої, такі як акселерометри [1]. У подібних системах також використовуються і інші пристрої, такі як ультразвукові датчики. Однак головна проблема цих пристроїв полягає в тому, що якість даних від датчиків залежить від багатьох факторів, таких як температура, місце розташування цілі, склад цілі, середовище передачі, інтерференція від інших датчиків.

Загальну архітектуру будь-якого додатка на основі датчиків можна розділити на 4-шарову. На кожному рівні існує декілька дослідницьких завдань, таких як управління датчиками, вибір датчиків, передача даних та виведення даних. В наш час перспективно застосовували цю загальну архітектуру до конкретної проблеми моніторингу діяльності літньої людини вдома або в лікарняній палаті. Існує три сценарії з різними стратегіями розташування датчиків, вибору датчиків та передачі даних. У першому сценарії датчики розташовані у кімнаті, вибір датчиків ґрунтується на профілі якості окремих датчиків, а в синтезі даних використовується тріангуляція. Другий сценарій схожий на перший, лише етап передачі даних використовує фільтри Кальмана [2]. У третьому сценарії датчики розміщуються в сітці на стелі, і планування датчиків здійснюється на основі розподілу часу. Всі три сценарії використовують ультразвукові датчики для фіксації траєкторій пацієнта, а потім для класифікації захоплених траєкторій з метою аналізу діяльності. Мета роботи полягає в тому, щоб проілюструвати переваги застосування ультразвукових датчиків для відстеження людей ненав'язливим, недорогим способом, враховуючи відхилення від норми якості цих датчиків.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Ця робота базується на шкалі спостереження за агітацією у осіб з деменцією типу Альцгеймера (ШСАОД) [3]. Ця шкала прагне об'єктивно класифікувати ступінь збудження людини, що страждає на деменцію. В даний час оцінка за шкалою ШСАОД є надзвичайно трудомістким завданням, яке виконують люди

в клініках, які оцінюють тривалість фізичних рухів та локалізацій протягом п’яти хвилин за раз, і присвоюють суб’єктивний рейтинг кожній виявленій поведінці. Метою роботи є автоматизація цього виснажливого і суб'єктивного завдання за допомогою використання датчиків. В роботі [4] запропоновано наступний алгоритм. Відбувається початкова робота над двома особливостями поведінки ШСАОД, а саме загальним рухом тіла (ЗРТ) та рухом вгору / вниз (РВВ). За допомогою розташування на стелі можна контролювати як ЗРТ, так і РВВ. Для виявлення ЗРТ використовуються ультразвукові датчики для точного розпізнавання та відстеження замість типових рішень на основі відео, які часто вважаються занадто нав'язливими. Для виявлення РВВ використовуються два типи датчиків, що працюють разом, а саме датчиків тиску та ультразвукових датчиків.

Передача даних, отриманих цими двома методами сканування, забезпечує більш точне виявлення. Відповідно до розташування датчика, показання датчиків зберігаються у матриці певної розмірності. Кожного разу, коли надходять дані, надіслані від одного з датчиків, створюється знімок матриці, що представляє поточне значення зчитування всіх датчиків. Оскільки дані, які ми маємо від ультразвукових датчиків, це відстань від датчиків до найближчого об'єкта, очевидно, що людина повинна знаходитися під датчиком, який дає найменше значення у кімнаті.

Також фіксується час, коли людина рухається з-під одного датчика на інший. Це дозволяє дізнатись тривалість перебування під кожним датчиком. Було продемонстровано, що така система фіксує з 90% коректністю положення людини в кімнаті [3]. Причиною втрати точності на 10% є інтерференція. Хоча були спроби по-різному розташувати датчики та вибрати відповідну частоту дискретизації, інтерференція все ще є, і іноді спричиняє неправильні показники.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Пропонується використовувати комбінацію всіх алгоритмів та компонентів для отримання найбільш якісного результату. Можна використовувати два типи ультразвукових датчиків, дротові та бездротові. Дротові датчики повинні мати концентратори для зв'язку з ПК через COM-порт або USB-порт.

Прикладом бездротового датчика може бути ультразвуковий датчик Devantech SRF04, що працює на платформі MicaZ, який використовувався в різних галузях промисловості та моніторингу навколишнього середовища. Ультразвуковий датчик відстані Devantech SRF04 визначає відстань до об'єкта, вимірюючи час відображення звукової хвилі від об'єкта. Має робочу частоту 40кГц, кут зору <15°, дальність вимірюваннння 2см-450см, точність 3мм.Також для бездротової версії необхідна плата програмування для зв'язку з ПК та пристрій базової станції, наприклад, шлюз MIB600, який може підтримувати до 254 датчиків. Додатково необхідно розробити програмні алгоритми аналізу отриманих даних. Така система може базуватись на інтелектуальних алгоритмах, описаних в роботі [5].

Описана система не працює добре в заваленому приміщенні через природу ультразвукових датчиків. Ці датчики можуть виявити лише найближчий об’єкт

у своєму діапазоні. Отже, якщо людина знаходиться за датчиком, її неможливо виявити за допомогою датчика. Якщо між людиною та датчиком присутня перешкода, цей датчик не може виявити рух людини. Однак у випадку розташування потоку для ЗРТ ефективність залежить від зросту пацієнта. Якщо пацієнт вищий за (або у вищому положенні) від інших об'єктів поблизу, система все одно працює добре. Це ще одна перевага розташування датчиків на стелі.

ВИСНОВКИ

У цій роботі представлено характеристики ультразвукових датчиків, що можуть використовуватись як неінвазивні пристрої для моніторингу руху людей в приміщенні. Розкриті питання, пов’язані з якістю, які, як правило, ігноруються науковою спільнотою. Розглянуто визначену характеристику якості окремих датчиків, а потім запропоновані алгоритми для поліпшення якості комбінованої інформації від двох або більше датчиків. Представлено три сценарії використання ультразвукових датчиків.

Відстеження кількох цілей є складною проблемою. У нашому випадку це ще складніше, оскільки ми не маємо іншої інформації, крім інформації, що надходить від ультразвукових датчиків. Розташування датчиків на стелі дозволяє їм працювати незалежно, отже, ми можемо відстежувати більше однієї цілі одночасно. Це дослідження має багато напрямів для подальшої роботи. У майбутньому планується протестувати різні датчики іншого типу разом із ультразвуковими для поліпшення якості розпізнавання. Також планується розробити алгоритми передачі даних та узгодження траєкторій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Evaluation of a new sensor system for ambulatory monitoring of human posture and walkingspeed using accelerometers and gyroscope / K.Motoi, S. Tanaka, M. Nogawa, K. Yamakoshi. // SICE Ann. Conf.. – 2003.

[2] Takanashi K. Real-time Estimation of HumanBody Postures using Kalman Filter / K. Takanashi, T. Sakaguchi, J. Ohya. // International Work-shop on Robot and Human Interaction. – 1999. – №8.

[3] Biswas J. Agitation monitoring of persons with dementia basedon acoustic sensors, pressure sensors and ultrasound sensors / J. Biswas. // In the Proceedings of the International Conference On AgingDisabilities and Independence. – 2006.

[4] Automated analysis of nursing home observation / [A. G. Hauptmann, J. Gao, R. Yan та ін.]. // Pervasive computing. – 2004.

[5] Galagan R. M. The use of ART-2 neural network for processing information signals of non-destructive testing / R. M. Galagan, A. S. Momot. // proc. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) Kiev, 29 May-2 June 2017 / IEEE. – 2017. – pp. 981–985.

Наук. керівник – доктор філософії, ас. Момот А.С.

УДК 620.179.16

Стешенко Я.В., студент гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДЕФЕКТОСКОП НА БАЗІ СМАРТФОНУ

Анотація. В роботі розглядається ультразвуковий дефектоскоп, який використовує розширені функції смартфонів. Інтеграція цих функцій у звичайну систему неруйнівного контролю збільшує можливості системи, одночасно зменшуючи апаратні витрати, тому для отримання цих переваг розглянуто розроблену ультразвукову карту. Також було розглянуто додаток для Android для надсилання даних конфігурації на плату розробки ультразвуку та візуалізації отриманих сигналів
Ключові слова: ультразвуковий контроль, смартфон, Bluetooth.

ВСТУП

Неруйнівний контроль (НК) - це метод вимірювання та оцінки, який дає інформацію про внутрішню структуру матеріалів, не завдаючи їм шкоди чи пошкодження. Існує багато методів НК, і ультразвуковий контроль (УК) - один із них. Однак очевидно, що ультразвуковий метод є більш універсальним, ніж інші методи. У більшості випадків УК використовується як основний або додатковий метод перевірки [1]. Можна перерахувати деякі важливі переваги техніки УК, такі як проста у використанні, нешкідлива для здоров'я людей та навколишнього середовища та має високу точність [2]. Незважаючи на те, що УК - популярний метод, ціни на пристрої дуже дорогі.

Смартфони мають безліч вдосконалених функцій, а їх потужна можливість обробки даних робить їх технологіями, які швидко розвиваються. У наш час ця технологія стала незамінною частиною нашого життя [3]. Інтеграція інтелектуальних пристроїв у програму УК включає багато корисних переваг. Наприклад, розроблена система УК може бути надзвичайно дешевшою порівняно з ринковою.

Важливою частиною ультразвукового дефектоскопу є ультразвукова карта. Основною функцією такої карти є генерація електричних імпульсів високої напруги та високої частоти, оцифровка вхідного ультразвукового відлуння та зв'язок зі смартфоном через Bluetooth. Додаток, розроблений для інтелектуальних пристроїв, може інтерпретувати та оцінювати ультразвукові дані, записані платою УК.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Метод отримання та уловлювання ультразвукових хвиль одним і тим же ультразвуковим перетворювачем називається луна-імпульсним (ЛІ) і є одним із найбільш часто використовуваних методів ультразвукового НК [4]. Рисунок 1 ілюструє основну ідею ультразвукового контролю.

Процес подання заяви на перевірку є таким. Спочатку бажані значення конфігурації для ультразвукового контролю надсилаються зі смартфона на ультразвукову карту через Bluetooth. Коли ультразвукова карта отримує дані конфігурації, виконується конфігурація карти, така як швидкість посилення, бажане значення амплітуди високої напруги та інші параметри. Наприклад, параметр "Кількість імпульсів" записується у відповідній адресі в FPGA, оскільки ультразвукові імпульси генеруються мостом MOSFET, керованим

FPGA. Після завершення процесу конфігурації процес ініціалізації виконується блоком мікроконтролера (MCU). Ультразвукові хвилі починають генеруватися ультразвуковим перетворювачем після завершення процесу ініціалізації. Відбиті ультразвукові сигнали від матеріалу фіксуються тим самим ультразвуковим перетворювачем і посилюються підсилювачами на ультразвуковій карті. Підсилені сигнали передаються в блок оцифровки та перетворюються у 10-бітові двійкові значення за допомогою блоку аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Виходи АЦП підключені до пам'яті FIFO, вбудованої в FPGA. Коли пам'ять FIFO заповнюється, створюється зовнішнє переривання для активації MCU. Вміст пам'яті FIFO передається на зовнішній інтерфейс шини (EBI) MCU за допомогою прямого доступу до пам'яті (DMA), і MCU надсилає ці дані на смарт-пристрій через канал зв'язку Bluetooth. Програма, розроблена для смартфона, використовується для оцінки та інтерпретації оцифрованого отриманого сигналу.

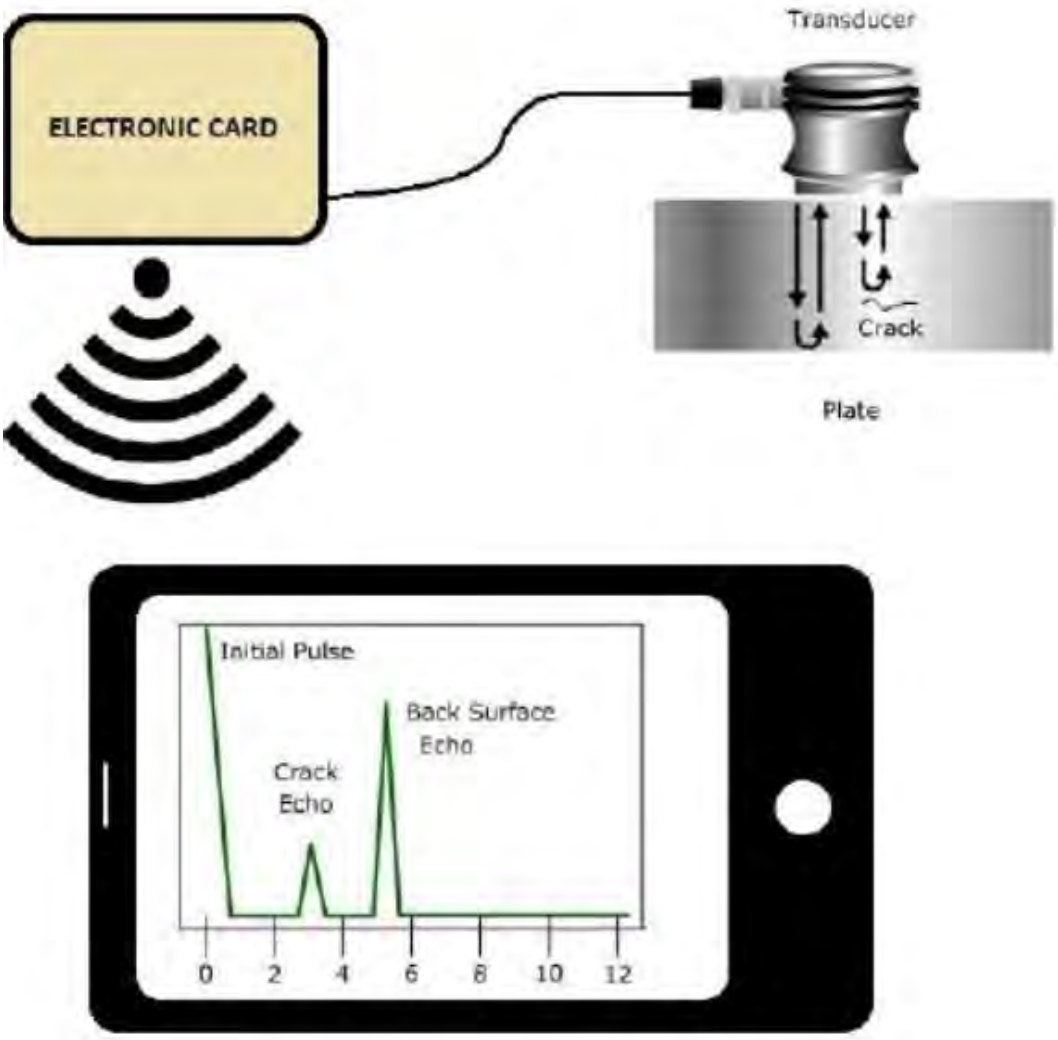


Рисунок 1. Загальний огляд процесу ультразвукового контролю розробленої системи

Результати перевірки відображаються на екрані смартфона у вигляді графічного зображення A-Scan, див. Рисунок 1. На цьому графіку горизонтальна вісь показує час, а вертикальна вісь показує силу сигналу.

Структурна схема системи складається з чотирьох основних блоків, ультразвукового аналогового переднього кінця (UAFE), регулятора напруги, блоків FPGA та MCU.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Такий пристрій використовує ультразвуковий метод виявлення дефектів і має зручну та більш ефективну систему передачі та обробки інформації в порівнянні зі звичайними дефектоскопами. Кабель зазвичай використовується для зв'язку між блоками перетворювача та обробки даних. У випадках, коли між ними немає прямого доступу, необхідна бездротова передача даних. Такий спосіб передачі дозволяє автоматизувати систему і звільняє нас від фізичного підключення двох або більше деталей пристрою.

Мобільні пристрої (смартфони, планшети тощо) з потужними обчислювальними можливостями та сенсорними екранами набули широкого поширення в наш час. Тому головне завдання, це розробити дефектоскоп за допомогою мобільного пристрою як блоку обробки результатів контролю.

Потрібно створити модель мобільного ультразвукового дефектоскопу, який буде здатний використовувати ультразвукові датчики з різною частотою резонансу. Можна встановити програмне забезпечення з більш досконалим та оптимізованим кодом завдяки гнучкості роботи з мікроконтролерами.

Потрібно дослідити ринок та вибрати АЦП, який дозволив би працювати з будь-якими датчиками. Краще за все використовувати бездротову технологію Bluetooth у блоці передачі інформації.

Обробка прийнятого сигналу може бути реалізована на різних пристроях, характеристики яких залежать від швидкості обробки даних. На даний момент розроблено мобільний додаток, який дозволяє візуалізувати отриманий сигнал у формі А-сканування, тобто двовимірного відображення зміни амплітуди на вході дефектоскопа в плині часу. Для побудови зображення В, С та інших отворів необхідно використовувати дефектоскоп у поєднанні з датчиками тракту.

ВИСНОВКИ

Іншої точки зору було досягнуто завдяки інтеграції смартфонів із звичайними ультразвуковими приладами НК. Розроблена система може отримувати дані перевірки з розробленої на замовлення ультразвукової карти бездротовим способом. Розумний пристрій може оцінювати дані та керувати ультразвуковою картою. Програма для Android, розроблена для інтелектуальних пристроїв, які можуть записувати та оцінювати отримані ультразвукові сигнали. Смартфон може передавати збережені дані перевірки завдяки функціям мобільного зв'язку. Інтеграція вдосконалених функцій смартфона привносить інноваційні функції у звичайний ультразвуковий НК. Наприклад, користувач може зберегти координати місця, де проводиться перевірка, або сфотографувати перевірені матеріали. Процесори для смартфонів досить потужні, щоб виконувати обчислення DSP. З розвитком мобільних технологій кількість академічних досліджень збільшується [4]. Наприклад, якщо потрібні операції DSP і недостатньо потужності процесора для цього на апаратному забезпеченні,

то з цим може впоратися смартфон. Платформа Android НК надає програмісту можливість використовувати навички кодування C / C ++ в додатках для Android. Наприклад, зерниста структура матеріалів розсіює ультразвукові хвилі, що спричинює шум в прийнятому сигналі [5]. Видалення цих шумів із сигналу можливо, і цей фільтр можна побудувати на смартфоні замість мікросхеми DSP.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] M. V. Brook, Ultrasonic Inspection Technology Development and Search Unit Design: Examples of Practical Applications. IEEE press, 2012.Small Inspection Vehicles for Non-Destructive Testing Applications / M.Friedrich, L. Gatzoulis, G. Hayward, G. Galbraith. // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2006. – pp. 927–934.

[2] 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

[3] A.T. Özdemir, A. Orman, “Developing an iPhone smartphone based fall detection algorithm”, Proc. 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), pp. 2456-9, Malatya, Turkey, 16-19 May, 2015.

[4] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

[5] J. Saniie, D.T. Nagle, K.D. Donohue, “Analysis of order statistic filters applied to ultrasonic flaw detection using split-spectrum processing,” IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, vol. 38, no. 2, pp. 133-140, Mar. 1991.

Наук. керівник – доцент Галаган Р.М.

УДК 620.179

В.А. Талецька, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДОППЛЕРОГРАФІЯ В МЕДИЦИНІ

Анотація. У даній роботі наведені сучасні методи ультразвукової доплерографії, їх відмінності, недоліки та області застосування.
Ключові слова: доплерографія, ефект Доплера, неруйнівний контроль, медицина

ВСТУП

До теперішнього моменту люди почали більше уваги приділяти здоров'ю, але від зовнішніх факторів, які можуть на нього вплинути, ніхто не застрахований. Поганий стан навколишнього середовища, неякісні продукти і багато іншого може негативно вплинути на стан нашої серцево судинної системи. Щоб вчасно діагностувати патологію, використовують ультразвукову доплерографію, яка вже стала незамінна при діагностиці захворювань вен і судин голови, шиї, серця та інших органів.

Доплерографія – метод діагностики, заснований на ефекті Доплера. Ефект Доплера описує зсув частоти сигналу в залежності від відносного руху джерела і приймача [1].

ОГЛЯД РІЗНОВИДІВ ДОПЛЕРОГРАФІЇ

Існує кілька основних різновидів проведення доплерографії [2]:

- неперервний доплер;
- імпульсний доплер;
- кольорове доплерівське картування;
- енергетичний доплер;
- тканинний доплер.

Кожен з цих методів має свої особливості, які доцільно використовувати в тому чи іншому випадку, залежно від того, що треба діагностувати і який результат ми хочемо отримати.

Неперервний доплер, його ще називають постійно-хвильовим, на відміну від інших режимів ультразвукового дослідження, заснований на постійному випромінюванні і постійному прийомі відбитих ультразвукових хвиль. Постійно-хвильовий доплер дозволяє вимірювати швидкість потоків крові уздовж всієї лінії проникнення променя.

Імпульсний доплер заснований на періодичному випромінюванні імпульсів ультразвукових хвиль, які, відбившись від клітин крові, послідовно сприймаються тим же датчиком [3]. На відміну від неперервного доплера за допомогою імпульсної доплерографії можна провести дослідження конкретної ділянки судини або серця, в якому ми реєструємо спектр кровотоку.

Метод кольорового доплерівського картування заснований на кодуванні в кольорі середнього значення допплерівського зсуву випромінюваної частоти. Методика забезпечує пряму візуалізацію потоків крові в серці і у відносно великих судинах. При цьому кров, що рухається до датчика, забарвлюється в червоний колір, а від датчика — в синій, турбулентні потоки позначаються білим

або зеленим кольорами, а кровоток, спрямований перпендикулярно до датчика — чорним [4]. Інтенсивність кольору зростає зі збільшенням швидкості кровотоку. Темні відтінки цих кольорів відповідають низьким швидкостям, світлі відтінки — високим.

Енергетичний доплер базується на оцінці низькошвидкісного кровотоку в дрібних судинах. Цей метод є модифікацією кольорового доплерівського картування і відрізняється від нього тим, що енергетичний доплер відображає рух в досліджуваній області і його інтенсивність, але інформація про швидкість і напрям при цьому відсутня.

Тканинний доплер аналогічний методу імпульсного доплера, але замість швидкості потоку крові, в ньому вимірюється швидкість руху тканин, при цьому сигнали від судин відкидаються. Часто є можливість будувати графіки не тільки швидкості, але і інших вимірюваних величин в реальному часі.

ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ МЕТОДІВ

Кожен з методів має недоліки, які не дозволяють повною мірою діагностувати організм, тому метод обирається в залежності від поставленої задачі.

Так головним недоліком неперервної доплерогіфії є неможливість аналізу потоків в строго визначеному місці. Також частота відбитого сигналу змінюється не тільки внаслідок руху крові в досліджуваній судині, але і через будь-яких інших рухомих структур, які зустрічаються на шляху падаючої ультразвукової хвилі. Таким чином, визначається сумарна швидкість руху цих об'єктів без можливості виділення окремих ділянок внаслідок відсутності роздільної здатності по глибині. Цього недоліка позбавлений імпульсний метод, завдяки якому можна провести дослідження конкретної ділянки судини або серця, в якому ми реєструємо спектр кровотоку. Тобто цей метод позбавлений від головного недоліку постійно-хвильового доплера — відсутності роздільної здатності по глибині. При цьому, щоб домогтися гарної роздільної здатності, імпульси повинні бути якомога коротше.

У випадку, коли потрібно проводити сканування на великій глибині і працювати з великими швидкостями, то імпульсний доплер програє неперервному, оскільки він має обмеження у вимірюванні швидкостей на достатніх глибинах сканування. Для кожної частоти датчика і глибини, на якій ми досліджуємо кровоток, є певна максимальна швидкість, доступна для вимірювання. Якщо швидкість кровотоку перевищує цю межу, на спектрі він не поміщається. Тому в таких випадках доцільно використовувати неперервний доплер.

Як вже раніше зазначалося, тканинний доплер — те саме, що і імпульсний, але використовується для вимірювання швидкості руху тканин, тим самим здобуваючи здатність отримання ізольованого зображення серцевого м'яза без зображення крові, що міститься в порожнинах серця.

У кольоровому доплерівському картуванні недоліком є неможливість отримання зображення дрібних кровоносних судин з маленькою швидкістю кровотоку. За допомогою цієї методики не можна визначити розрахункові

індекси. Але він незамінний у випадках, коли потрібно охарактеризувати особливості кровотоку в органі та простежити хід судин, тобто, їх напрямок. Також даний метод має яскраво виражену залежність від величини допплерівського кута, чого в свою чергу позбавлений імпульсний метод, його головною перевагою є незалежність отримання зображення кровотоку від кута сканування. Це дозволяє візуалізувати кровоток навіть в судинах, які лежать перпендикулярно напрямку скануючого променя. Також енергетичний доплер має найвищу чутливість, дозволяє досліджувати дрібні кровоносні судини і має більшу частоту кадрів в порівнянні з іншими допплерівськими методами. Але і він має свої недоліки: велика чутливість до будь-якого руху датчика і досліджуваного об'єкта, не дає інформацію про середню швидкість кровотоку в окремих елементах зображення, а реєструє факт наявності кровотоку.

ВИСНОВКИ

У кожного виду доплерівського дослідження є своя перевага в чомусь перед іншими. В такому випадку кожне з них використовується для конкретного завдання, в залежності від ділянки, яку потрібно діагностувати.

Наприклад, режим неперервного доплеру має особливу цінність при дослідженнях високошвидкісних потоків. Такий кровоток є в серці, тому даний режим найбільш затребуваний саме в кардіології.

Але в основному дані методи використовують комбіновано. Часто кольоровий і імпульсний доплер використовуються разом: кольоровий – для знаходження судини, імпульсний – для оцінки швидкості кровотоку в ній. Це дуже корисно при ультразвуковому дослідженні під час вагітності. Колірний і енергетичний доплер допомагають у виявленні кіст і пухлин, оскільки внутрішній вміст кісти позбавлене судин. Тканинний доплер застосовується спільно з імпульсним доплером в ехокардіографії для оцінки скорочувальної здатності міокарда.

Таким чином, використовуючи доплерівські методи спільно, можна дати точну оцінку діагностування організму в різних випадках.

СПИСОК ВКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
[2] Цапенко В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю / В. К. Цапенко, Ю. В. Куц. – Київ: НТУУ "КПІ", 2009. – 431 с.
[3] Доплерографія [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://studopedia.org/5-55979.html.
[4] Ультразвуковое исследование [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ультразвуковое_исследование.

Науковий керівник – к.т.н, доц. Галаган Р.М.

УДК 004.032.26

К.М. Троцюк, студентка гр. ПК-71
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИКОРИСТАННЯ СФОКУСОВАНОГО УЛЬТРАЗВУКУ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ХВОРОБИ ПАРКІНСОНА

Анотація. У даній роботі ультразвук розглянуто як метод лікування хвороб головного мозку. Проведено аналіз досліджень вчених, які шляхом багатьох експериментів і аналізів прийшли до оптимального рішення використовувати сфокусований ультразвук для усунення тремору, поліпшення симптомів при більш серйозних захворюваннях, які на сьогоднішній день є незлічимими, а лише підтримуються медикаментозно. Також розглянуто вже існуючий метод лікування зі своїми недоліками і перевагами, який користується успіхом у Європі, але вимагає певних допрацювань в силу особливостей людського мозку і деяких перешкод.

Ключові слова: неруйнівний контроль, сфокусований ультразвук, тремор, хвороба Паркінсона.

ВСТУП

Згідно дослідженням, проведеним у 2017 році Національним центром статистики охорони здоров'я, приблизно кожен восьмий у віці старше 12 років приймає антидепресанти при психічних розладах, таких як депресія і тривожність, і чверть з них приймають це протягом 10 і більше років. А з 1999 по 2014 рік використання антидепресантів збільшилося на 65%. Більш того, згідно з даними ВООЗ, в світі загальне число хворих на хворобу Паркінсона становить близько 3,7 млн, а щорічно реєструється понад 300 тис. нових випадків хвороби. З огляду на наведену статистику, з упевненістю можна сказати, що лікування подібних хвороб стоїть досить гостро. І на сьогоднішній день вчені працюють над тим, щоб для лікування захворювань мозку були не потрібні ліки або інвазійна хірургія – тільки звукові хвилі.

З огляду на те, що переважна більшість пацієнтів не реагують на ліки, їм доводиться вдаватися до інших методів, які або інвазійні, або не мають достатнього фокусування. Ультразвукові хвилі позбавлені цих недоліків.

Саме тому вчені так налаштовані на пошук оптимального варіанту лікування психічних розладів, неврологічних розладів, таких як хронічний біль і епілепсія.

МЕТОДИКА ЛІКУВАННЯ

В основі методу лежить використання ультразвукових хвиль для локальної деструкції відповідних мішеней в головному мозку без безпосереднього хірургічного втручання, тобто промені точно фокусуються на невеликій ділянці ураженої тканини, щоб локально виділяти високі рівні енергії. Датчик дозволяє передавати високий звуковий тиск в точку фокусування, не викликаючи небажаного пошкодження інших тканин. Це підвищення тиску може викликати ряд ефектів, включаючи нагрівання і кавітацію [1].

Протягом усієї процедури пацієнт знаходиться в свідомості, а на томографі проводиться запис МР-термографії. Це дозволяє безперервно підтримувати нейровізуалізацію і клінічний зворотний зв'язок з пацієнтом.

Система сфокусованого ультразвуку схвалена в Ізраїлі, Канаді, Європі, Кореї і Росії для лікування ессенціального тремору, невропатичного болю і тремору Паркінсона. Такий підхід дозволяє лікувати мозок без розтину або опромінення.

Незважаючи на чудову точність і проникнення, вплив ультразвуку на мозок зазвичай слабкіше, ніж при використанні електромагнітної стимуляції, і його важче вивчати. Оскільки ультразвук є хвилею тиску, вважається, що він створює невеликі коливання, які можуть порушити записи електродів при електрофізіологічних дослідженнях клітин і зрізів мозку. В інших методах стимуляції мозку це помітно менше, оскільки вони передають електромагнітні хвилі.

Тому клінічні онкологи попередньо доставляють ліки до пухлин, вводячи ліки всередину наночастинок, які розпізнають певні молекули на поверхні ракових клітин. Після цього застосовують ультразвукові хвилі до мозку, в результаті чого зовнішні оболонки наночастинок випаровуються і вивільняють ліки в навколишні тканини [2].

Спочатку вводять новий генетичний матеріал в несправні клітини мозку, використовуючи вірус як засіб доставки. Це дає інструкції для цих клітин з вироблення білків, чутливих до ультразвуку.

Наступним кроком є випромінювання ультразвукових імпульсів, спрямованих на клітини з чутливими до звуку білками. Ультразвуковий імпульс дистанційно активує клітини [3].

Найприємніше в соногенетиці те, що вона не вимагає імплантації мозку, тому що використовують штучно створені віруси, які не можуть відтворюватися, щоб доставити генетичний матеріал в клітини мозку. Це дозволяє клітинам виробляти чутливі до звуку білки [2].

Соногенетика дозволяє лікарям вмикати або вимикати клітини мозку в певному місці або в певний час і лікувати ці рухові розлади без операції на головному мозку.

НЕДОЛІКИ ТА ПЕРЕВАГИ

Технологія впливу сфокусованим ультразвуком має певні ризики і обмеження у використанні, пов'язані як з характером ураження, так і з локалізацією мішеней в головному мозку в кожному конкретному випадку. Наприклад, метод не підходить для пацієнтів з високою щільністю кісткової тканини, що перешкоджає проходженню ультразвуку через кістки черепа. Сфокусований ультразвук технічно менш ефективний в тих випадках, коли мішень для деструкції розташовується на віддалі від центральних структур головного мозку [4].

Головним недоліком сфокусованого ультразвуку є незворотність його ефекту, що при двосторонньому впливі на структури-мішені в головному мозку пов'язано з високим ризиком розвитку таких побічних ефектів, як порушення ходьби і мови.

Незважаючи на перелічені труднощі метод має стрімкий розвиток через вагомість своїх переваг: використання сфокусованого ультразвуку дозволяє відмовитись від хірургічних втручань та постійних медикаментів, які викликають звикання.

Перевагою методу глибокої стимуляції мозку також є його керованість, але, з іншого боку, незворотність ефекту може призвести до повного регресу деяких

форм рухових розладів. Всі ці обставини викликають чимало суперечок і дискусій в науковому співтоваристві.

ВИСНОВКИ

Майбутнє методу виглядає вельми перспективним і багатообіцяючим, але сьогодні знаходиться поки що в зародковому стані і потребує більш докладного вивчення. Вчені припускають, що з часом стане можливим використання сфокусованого ультразвуку для стимуляції і картування функцій головного мозку, що зробить цей метод лікування більш ефективним і безпечним.

Ключовим моментом в ефективності використання сфокусованого ультразвуку є точність і глибина, з якими промені проникають у мозок. Кістки черепа є серйозною перешкодою для поширення ультразвуку, тому пошук способів подолання цієї проблеми є одним з основних питань, яке потребує уваги з метою поліпшення методу в подальшому [3].

На сьогоднішній день багато нюансів ще в стадії вивчення, оскільки при високій інтенсивності впливу ультразвуку тканина нагрівається, а клітини можуть загинути. При цьому ефекти ультразвуку низької інтенсивності, швидше за все, будуть механічними, і їх складніше відокремити. Незважаючи на це метод активно використовується і дає свої результати.

СПИСОК ВКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

[2] Байбородина И. В. Транскраниальная сонография при болезни Паркинсона / В. Байбородина, В. Д. Завадовская, Н. Г. Жукова // Болезнь сибирской медицины, 2018. - С. 15-23.

[3] Беспалов В. Г. Высокоинтенсивный сфокусированный ультразвук в лечении злокачественных и доброкачественных опухолей. / В. Г. Беспалов, Г. В. Точильников, К. Ю. Сенчиков. / Вопросы онкологии / - Санкт-Петербург: Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова, 2020. - (т. 66). - С. 29-35.

[4] Гольченко Е. А. Терапия методом фокусированного ультразвука под контролем магнитно-резонансной томографии при дрожательной форме болезни Паркинсона / Е. А. Гольченко, Ю. В. Каракулова, Г. М. Галимова, 2020. - С. 61-68.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Галаган Р. М.

Секція 8.

Автоматизація експериментальних досліджень

УДК 681.3

М.В. Кубрак, студент гр. ВА-71, к.т.н., доц. Добролюбова М.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МОНІТОРИНГ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ В ОРАНЖЕРЕЯХ ПРИ РОЗВЕДЕННІ ОРХІДЕЙ

Анотація. Стаття присвячена аналізу походження та особливостей розведення орхідей в оранжереях домашнього типу. Розглянуті основні кліматичні показники якості та їх вплив на всі фази життєвого циклу рослини. Представлені результати розробки підсистеми моніторингу температури оточуючого середовища.
Ключові слова: кліматичні показники, оранжерея, орхідея, вимірювання.

ВСТУП

Багато хто з нас вважає орхідеї найпривабливішими, чарівними, граційними та неповторними. Ці квіти з різноманітними відтінками, розмірами бутонів та ароматів приваблюють людей дуже давно. Відомо, що їх появу на землі можна прослідкувати до 65 млн. років тому. Найдавніші останки цих квітів були знайдені в Вероні, Італія. Орхідеї завжди були символом розкоші, краси та любові. Свою назву ця рослина отримала завдяки древньогрецькому філософу Теофрасту через коріння у вигляді парної цибулини та була описана в першому систематичному трактаті з фармацевтичної ботаніки «De Historia Plantarum». Ацтекам було відомо декілька видів орхідей. Наприклад, стручки «Ванілі» використовувалась ними в ароматних кавових напоях. А от давньоримський військовий лікар Діоскорид, який жив в першому столітті нашої ери, згадує орхідеї в своїх роботах по ботаніці та фітотерапії. Доречі, перший трактат про розведення орхідей з’явився в 11 столітті та території Китаю, де ця квітка пов’язана з весняними святами та вигнанням злих духів. Цей факт дозволяє зробити припущення, що батьківщиною кімнатної рослини орхідея є саме Китай. Перші тропічні орхідеї привіз до Європи з Вест-Індії у 16 столітті єзуїтський священик Фрациско Ернандес, а німецький ботанік Л. Фукс їх описав у своїй роботі «Historia stirpium». Шведський ботанік Карл Лінней першим визначив ботанічні класифікації орхідей, які використовувались до 18 століття. А Чарльз Дарвін вивчав види та методи селекції орхідей, завдяки чому у багатьох народилась справжня пристрасть до цих прекрасних створінь [1]. Cymbidium, Epidendrum, Phaius та Vanilla – перші види орхідей, які були виведені в теплицях на території Англії та Нідерландів. Саме завдяки цьому орхідеї поширились по всіх континентах окрім Антарктиди [2].

В першу чергу, ці рослини відомі як декоративні квіти, але використовуються і в кулінарії (як цінна пряність), і в медицині (як обволікаючий засіб та харчова добавка для знесилених хворих) [2].

Однак, не дивлячись на те, що орхідні є однією з родин рослинного світу, що включають багато видів, ці рослини дуже вимогливі щодо догляду. Якщо не дотримуватися певних правил, то орхідея може загинути, так і не подарувавши оточуючим частинку щастя від спостереження за прекрасним. Тому так важливо при розведенні цих рослин вибирати оптимальний грунт, забезпечувати достатнє зволоження, дотримуватися прийнятного температурного режиму та режиму поливу. Більшість з цих заходів необхідно проводити кожного дня, тому

автоматизовані системи управління параметрами мікроклімату набувають все більшої актуальності.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Станом на теперішній час на ринку існує велике розмаїття систем управління параметрами мікроклімату. Подібні системи можуть використовуватись і в «розумних» будинках, і у виробничих приміщеннях, і в теплицях та оранжереях [3]. Але коли мова заходить про автоматизацію в умовах теплиць, то виявляється, що їх обмежена кількість і не всі з них забезпечують якісне і енергоефективне управління. Виходячи з того, що навіть найпростіша автоматизована система здатна забезпечити економію тепла і заощадити зусилля та гроші садівника, автори статті поставили за мету створити систему моніторингу параметрів мікроклімату, яка згодом стане частиною автоматизованої системи управління. На відміну від зазначених систем, розробка призначена для застосування в оранжереях приміських будинків або квартир. Такі умови використання накладають, в більшості випадків, вимоги у користувачів систем до прийнятної ціни, належної якості та необхідного функціоналу.

Отже, для того, щоб виростити здорову орхідею в домашній оранжереї необхідно забезпечити точну підтримку параметрів мікроклімату, що викликає деякі труднощі при ручному управлінні. Наприклад, забезпечувати температурний режим важко через те, що садівник не в змозі вчасно реагувати на всі зміни контролюємих параметрів, тому границі коливання температури можуть іноді в 10 разів перевищувати припустимі, особливо в період мінливої хмарності. При цьому слід зауважити, що потрібно враховувати різні фази життєвого циклу орхідеї, що супроводжується різними температурними режимами. Також для нормального росту рослини потрібні волога та вуглекислий газ, причому необхідно дотримуватись певних їх співвідношень в залежності від показників температури. Слід враховувати також і рівень освітленості. Таким чином, на процеси життєдіяльності орхідеї – фотосинтез, дихання, випаровування тощо – впливають одразу декілька факторів навколишнього середовища. А щоб створити оптимальне поєднання цих параметрів, потрібна автоматизована система управління, яка б мала мінімально необхідні функції: регулювання температури, вентиляція, опалення, зрошення.

Станом на теперішній час, в процесі розробки знаходиться система моніторингу параметрів температури та вологості в оранжереї, яка дозволяє своєчасно та точно отримувати інформацію про температурні показники оточуючого середовища. В подальшому до можливостей системи будуть включені функції обробки отриманих даних і, на основі її результатів, здійснення необхідних дій, спрямованих на підтримку оптимального стану мікроклімату.

В системі, яка розробляється, для моніторингу температурних показників оточуючого середовища використано найбільш оптимальний датчик за співвідношенням ціна-якість, а саме: цифровий температурний датчик DS18B20 з програмованою роздільною здатністю від 9 до 12 біт, що зберігається в EEPROM пам’яті пристрою [4]. DS18B20 обмінюється даними по шині 1-Wire та

може бути як єдиним пристроєм на лінії, так і працювати у групі. Діапазон вимірювань датчика від -55°C до +125°C. Точність вимірювань датчика 0,5°C у діапазоні від -10°C до +85°C. При відсутності зовнішнього джерела живлення DS18B20 може живитися напругою від лінії даних. До складу системи входить дешевий, доступний, кросплатформений мікроконтролер Atmega 328p компанії Atmel [5], за допомогою якого відбувається зчитування сигналів з шини. Мікроконтролер має 8-бітний процесор, який забезпечує швидкість передачі до 20 МГц при живленні 4,5-5,5 В і виконує більшість команд за один такт. До того ж Atmega 328p має запатентовану архітектуру ядра під назвою Advanced Virtual RISC (AVR). Апаратна реалізація підсистеми вимірювання температури в рамках системи моніторингу кліматичних показників в оранжереях наведена на рисунку 1.

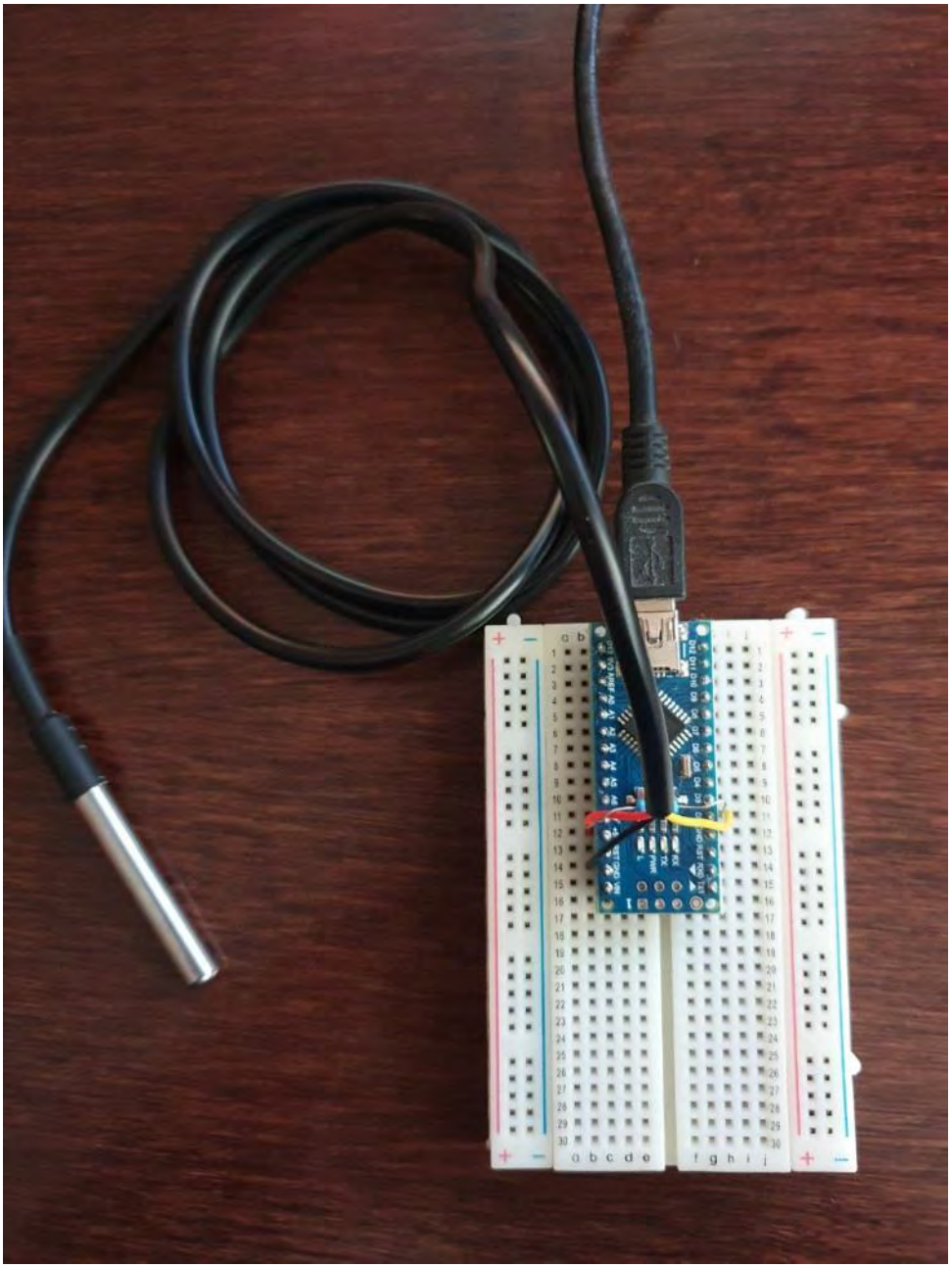


Рисунок 1. Підсистема вимірювання температурних показників всередині оранжерей

ВИСНОВКИ

Отже, в рамках системи моніторингу кліматичних показників в оранжереях розроблено підсистему вимірювання температурних показників, яка дозволяє забезпечувати сприятливі умови для вирощування орхідей в оранжереях домашнього типу.

Подальший розвиток системи передбачає наявність додавання датчиків для вимірювання всіх мінімально необхідних кліматичних параметрів та додавання підсистеми їх автоматичного регулювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] О цветах и растениях [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://otsvetax.ru – Дата доступу: 04.04.2021.

[2] Орхідні [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5 – Дата доступу: 04.04.2021.

[3] Системы управления микроклиматом в теплицах [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://agroru.com/news/cistemy-upravleniya-mikroklimatom-v-teplicah-108189.htm – Дата доступу: 10.04.2021.

[4] DS18B20 datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf – Дата доступу: 18.04.2021.

[5] Arduino Uno. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:arduino-uno – Дата доступу: 18.04.2021.

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

УДК 621.317

Д.Є. Куліков, студент гр. ПА-91, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ

Анотація. Під час контролю електричних кіл номінальні параметри елементів заздалегідь відомі, контролюються відхилення параметрів елементів від номінальних. Це еквівалентно тому, що у випадку імпульсних випробувальних сигналів – можна контролювати відхилення відгуку за формою на елементах кола від номінального. Складні електричні кола традиційно контролюється послідовно по окремим ділянкам, що уявляють собою прості або багатоелементні двополюсники. При цьому перевагу мають методи, що забезпечують вихідні сигнали, які є уніфікованими за формою та зручними для контролю. Це спрощує контроль та дозволяє підвищити продуктивність.

Ключові слова: контроль, випробувальний сигнал спеціальної форми, багатоелементне двополюсне електричне коло, функція імітансу.

ВСТУП

За рахунок прямих вимірів під час перехідного процесу можна підвищити продуктивність систем контролю [1,2]. Випробувальні сигнали (ВС) стандартної форми, наприклад, у вигляді одиничної ступінчастої функції, легко відтворити, але для багатоелементних двополюсних R,L,C-електричних кіл (БДЕК) таки сигнали дають відгук складної форми. Це обумовлює, потрібність вимірів відгуку за формою з високою точністю та його обчислювальну обробку з метою визначення інформації о окремих R,L,C-параметрах. Тому актуальної є розробка методів, які спрощують контроль та дозволяють підвищити продуктивність.

МЕТА РОБОТИ

Метою статті є аналіз реалізації методу контролю параметрів складних електричних кіл за формою уніфікованого відгуку, зручного для контролю.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Процес контролю складних електричних кіл складається з 2 етапів.

1 етап. Виділення двополюсника (ДП) у складної електричної схемі, в загальному випадку це БДЕК. Складне багатополюсне електричне коло (наприклад плата друкованого монтажу) за рахунок зовнішніх комутацій полюсів може бути зведено до трьохполюсного кола, де контрольований ДП – гілка цього трикутника. Це або прості одноелементні або багатоелементні R,L,C - двополюсники [1], які характеризуються $Y(s,\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{X_T}})$ або $Z(s,\boldsymbol{\alpha}_{\mathrm{X_T}})$.

Друга та третя гілки трикутника – шунтуючі опори $Z_{1,2\text{ш}}$, складаються з інших елементів друкованої плати. Трикутник підключається до вимірювального перетворювача «імітанс-напруга», який забезпечує спеціальний електричний режим на його полюсах. Режим заданої напруги або заданого струму через ДП, що дозволяє виділити контрольований ДП у складі трикутника, коли струм чи напруга на ДП визначаються тільки параметрами цього ДП.

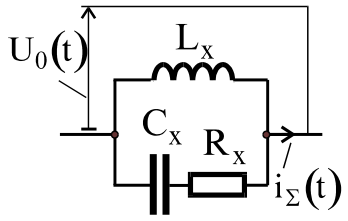
2 етап. Контроль параметрів ДП за вихідною напругою перетворювача «імітанс-напруга». Для побудови моделі ВС використовують інверсну номінальну функцію імітансу досліджуваного багатоелементного ДП [3]. Під час

контролю нулі і полюси моделі ВС компенсують полюси і нулі функції імітансу БДЕК.

Форму відгуку БДЕК за номінальних значень параметрів можна задати у вигляді ступінчастої функції. Якщо деякі нулі і полюси некомпенсовані, виникає відхилення відгуку від номінального, за яким можна проконтролювати БДЕК цілком. Таке відхилення дуже просто оцінити або проконтролювати шляхом порівняння з рівнем постійної номінальної напруги. За відхиленням відгуку можливо інваріантне визначення окремих R,L,C параметрів БДЕК.

Розглянемо трьохелементне R,L,C-коло. Синтез моделі ВС $U_{\text{B0}}(t)$, щоб одержати уніфікований відгук у вигляді ступінчастої функції струму у провідності $Y_{\text{X}}(s)$, наведено у табл. 1

Таблиця 1

 $Y_{\text{X}}(s)=\dfrac{s^2+\dfrac{R_{\text{X}}}{L_{\text{X}}}s+\dfrac{1}{L_{\text{X}}C_{\text{X}}}}{R_{\text{X}}s(s+\dfrac{1}{R_{\text{X}}C_{\text{X}}})}$ $U_{\text{B0}}(s)\cdot Y_{\text{X0}}(s)=\dfrac{1}{s}\times \text{I}_0$ $U_{\text{B0}}(s)=\dfrac{R_{\text{X0}}(s+\dfrac{1}{R_{\text{X0}}C_{\text{X0}}})\times \text{I}_0}{s^2+\dfrac{R_{\text{X0}}}{L_{\text{X0}}}s+\dfrac{1}{L_{\text{X0}}C_{\text{X0}}}}$	Якщо $R_{\text{X0}}^2C_{\text{X0}}>4L_{\text{X0}}$ Випробувальний сигнал $U_{\text{B0}}(t)=\dfrac{R_{\text{X0}}}{(\alpha_{10}-\alpha_{20})}\cdot\Big[(\alpha_{10}-b_0)\cdot e^{-\alpha_{10}t}-$ $-(\alpha_{20}-b_0)\cdot e^{-\alpha_{20}t}\Big]\times \text{I}_0,\quad t\ge 0;\ \text{I}_0=\dfrac{U_0}{R_0};$ $\alpha_{10,20}=\dfrac{R_{\text{X0}}}{2L_{\text{X0}}}\pm\dfrac{1}{2L_{\text{X0}}}\sqrt{\dfrac{C_{\text{X0}}R_{\text{X0}}^2-4L_{\text{X0}}}{C_{\text{X0}}}};$ $b_0=\dfrac{1}{C_{\text{X0}}R_{\text{X0}}};\ R_{\text{X0}}^2C_{\text{X0}}>4L_{\text{X0}}$

Розглянемо випадок, коли $R_{\text{X0}}^2C_{\text{X0}}>4L_{\text{X0}}$. При цьому корені характеристичного полінома у знаменнику $U_{\text{B0}}(s)$ – від'ємні дійсні, різні, тобто експоненти $U_{\text{B0}}(t)$ мають відмінні від'ємні дійсні показники степені.

Схема включення R,L,C-кола у складі трьохполюсника забезпечує режим заданої напруги на його полюсах (рис. 1). Струм через БДЕК перетворюється у напругу на виході перетворювача «імітанс-напруга».

Якщо $R_{\text{X}}=R_{\text{X0}}$; $L_{\text{X}}=L_{\text{X0}}$; $C_{\text{X}}=C_{\text{X0}}$, вихідна напруга дорівнює $U_{\text{ВИХ}}(s)=U_{\text{B0}}(s)\cdot Y_{\text{X0}}(s)\cdot R_0=(1/s)\times \text{U}_0$.

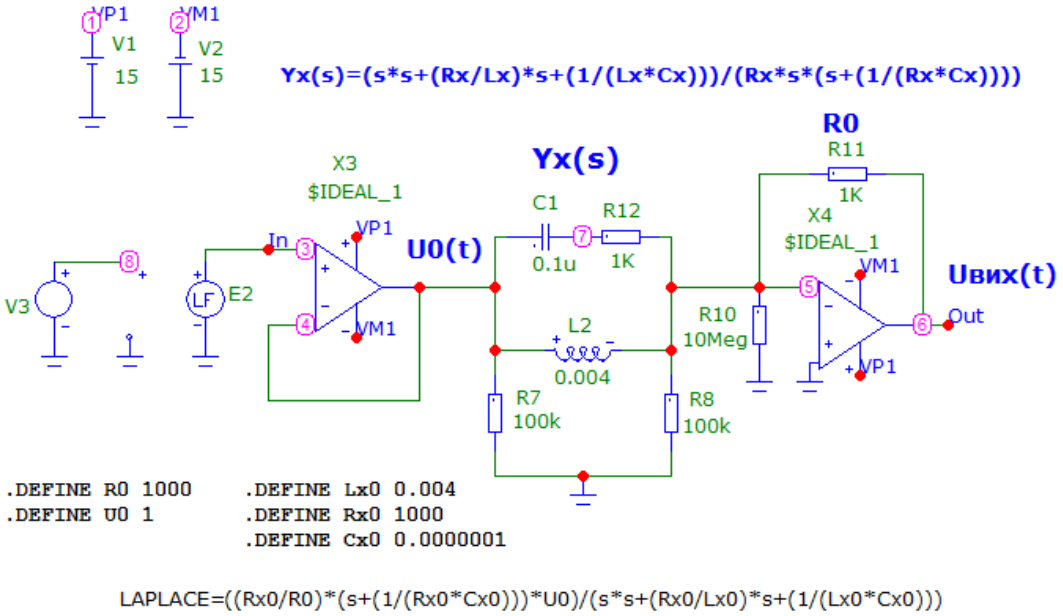


Рисунок 1. Схема включення паралельного БДЕК

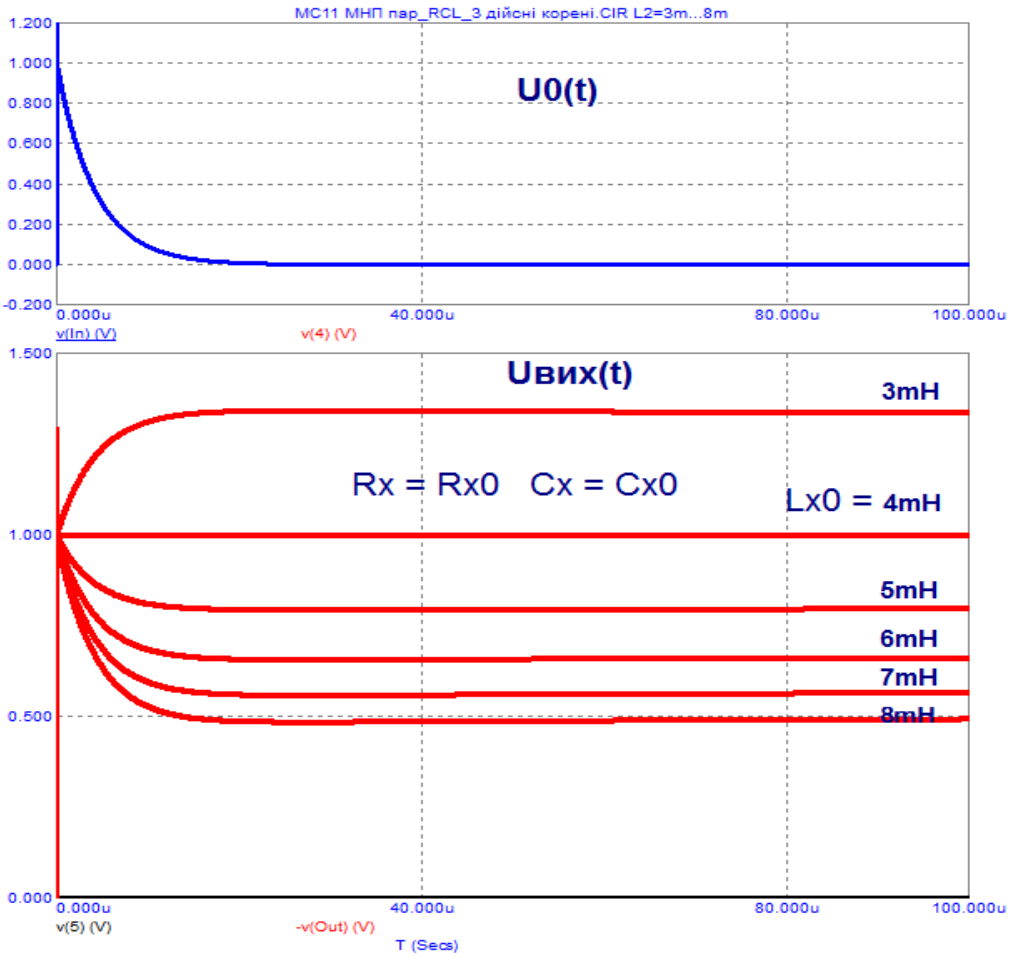


Рисунок 2. Уніфікований відгук паралельного R,L,C - двополюсника, якщо $R_X = 1\text{kOm}$; $C_X = 0.1\mu\text{F}$; $L_X \in [3\text{mH}; 8\text{mH}]$ – змінюється з кроком $\Delta L_X = 1\,\text{mH}$

Система експоненціальних ВС для контролю R,L,C – параметрів 3-х елементних БДЕК (кола 2-го порядку) наведена на рис. 3.

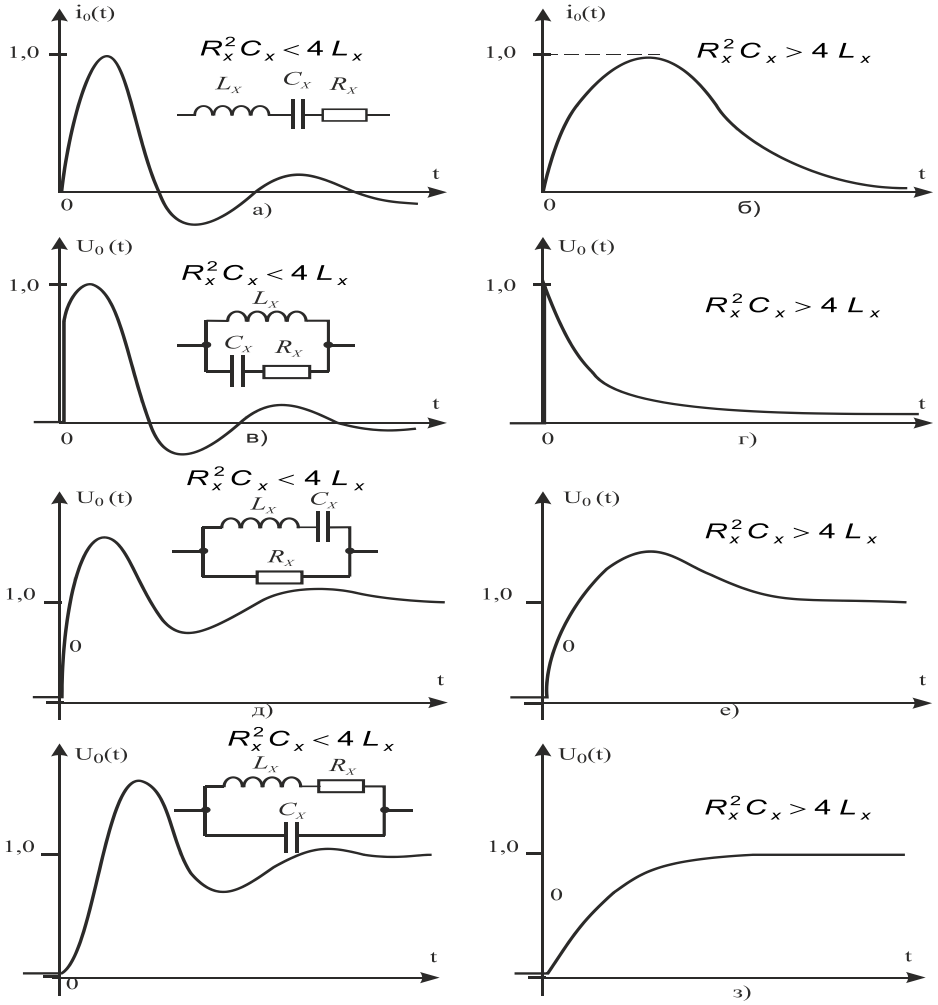


Рисунок 3. Типові експоненціальні ВС для виміру та контролю R, L, C – параметрів 3-х елементних БДЕК (кола 2-го порядку):

ВИСНОВКИ

Наведений приклад ілюструє одержання інформації про параметри складних електричних кіл другого порядку за методом нулів і полюсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Н.П. Байда, И.В. Кузьмин, та В.Т Шпилевой, *Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА*, М.: Радио и Связь, 1987. – 256 с.

[2] А.И. Мартяшин, К.Л. Куликовский, С.К. Куроедов, та Л.В. Орлова, *Основы инвариантного преобразования параметров электрических цепей,* под ред. А.И. Мартяшина, М.: Энергоатомиздат, 1990. – 216 с.

[3] Ю.М. Туз, Ю.С. Шумков, «Вимірювання та контроль параметрів складних електричних кіл за методом нулів і полюсів», *XIX Міжнародна науково-технічна конференція "Приладобудування: стан і перспективи"* Київ, Україна, ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, с. 178-179, 2020.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Шумков Ю.С.